



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa



## **GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA**

### **TREBALL FINAL DE GRAU**

---

# **ANÀLISI DEL CAMP VISUAL ÚTIL EN CONDICIONS DE CONDUCCIÓ SIMULADA**

**PAULA GIL LLANSA**

**JOSÉ LUIS ALVAREZ MUÑOZ**  
Departament d'Òptica i Optometria

15/06/2018



## GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

El Sr **José Luis Álvarez Muñoz**, com a director del treball

CERTIFICA

Que la Sra **Paula Gil Llansa** ha realitzat sota la seva supervisió el treball Anàlisi del camp visual útil en condicions de conducció simulada, que es recull en aquesta memòria per optar al títol de Grau en Òptica i Optometria.

I per a que consti, signo aquest certificat.

Sr José Luis Álvarez Muñoz  
Director del treball

Terrassa, 15 de Juny de 2018



## GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

# ANÀLISI DEL CAMP VISUAL ÚTIL EN CONDICIONS DE CONDUCCIÓ SIMULADA

### RESUM

**OBJECTIU:** Dissenyar una rutina per estudiar la pèrdua de camp visual útil en situació de conducció simulada, a partir de l'anàlisi de la pèrdua de sensibilitat al contrast.

**METODOLOGIA:** L'estudi s'ha realitzat amb 17 pacients, 9 dones i 8 homes, amb una mitjana d'edat de 21'52 anys. S'ha dissenyat un programa de projecció d'estímuls centrals i perifèrics per sobreposar-lo en el joc del Mario Kart de la Wii. S'ha realitzat tres tasques; la primera ha consistit en un fons de pantalla heterogeni sense moviment, la segona ha consistit en un fons de pantalla heterogeni amb moviment i, l'última, ha consistit en la simulació de conducció sobre una cursa d'aquest videojoc. L'objectiu principal de la tasca ha estat reconèixer l'estímul central (cotxe/camió/autobús) i intentar veure al mateix temps l'estímul perifèric (test de Gabor).

S'ha presentat 90 estímuls aleatoris per a cada tasca, a diverses excentricitats (3°/ 6°/ 9°/ 12°) i, amb tres sensibilitats al contrast diferents (1,00 / 1,13 / 1,44).

**CONCLUSIONS:** Es produeix una disminució de la sensibilitat al contrast per qualsevol estímul excèntric de fins a 12° d'excentricitat en passar de la tasca 1 a la 2 i de la 2 a la 3.



## GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

### ANÁLISIS DEL CAMPO VISUAL ÚTIL EN CONDICIONES DE CONDUCCIÓN SIMULADA

#### RESUMEN

**OBJETIVO:** Diseñar una rutina para estudiar la pérdida de campo visual útil en situación de conducción simulada, a partir del análisis de la pérdida de sensibilidad al contraste.

**METODOLOGÍA:** El estudio se ha realizado con 17 pacientes, 9 mujeres y 8 hombres, con una media de edad de 21'52 años. Se ha diseñado un programa de proyección de estímulos centrales y periféricos para sobreponerlo en el juego de Mario Kart de la Wii. Se ha realizado tres pruebas; la primera ha consistido en un fondo de pantalla heterogéneo sin movimiento, la segunda ha consistido en un fondo de pantalla heterogéneo con movimiento y, la última, ha consistido en la simulación de conducción sobre una cursa de este videojuego. El objetivo principal de la tasca ha sido reconocer el estímulo central (coche/camión/autobús) e intentar ver al mismo tiempo el estímulo periférico (test de Gabor).

Se ha presentado 90 estímulos aleatorios para cada prueba, a diversas excentricidades (  $3^{\circ}$  /  $6^{\circ}$  /  $9^{\circ}$  /  $12^{\circ}$  ) y con tres sensibilidades al contraste diferentes (1,00 / 1,13 / 1,44).

**CONCLUSIONES:** Se produce una disminución de la sensibilidad al contraste para cualquier estímulo excéntrico de hasta  $12^{\circ}$  de excentricidad en pasar de la tasca 1 a la 2 y de la 2 a la 3.





## OPTICS AND OPTOMETRY DEGREE

### USEFUL FIELD OF VIEW ANALYSIS IN SIMULATED CONDUCTION CONDITIONS

#### ABSTRACT

**PURPOSE:** To design a routine which studies the visual field loss in a simulated driving situation, based on the analysis of the loss of contrast sensitivity.

**METHODOLOGY:** The study was conducted with 17 patients, 9 women and 8 men, with an average age of 21.52 years.

A software was designed in order to project central and peripheral stimuli to overcome it in the Mario Kart game of the Wii. Three tasks have been performed; the first one made up of an heterogeneous wallpaper without movement, the second one consisted of a heterogeneous background with movement and, lastly, it consisted of the simulation of driving on a race of this video game. The main objective of the task has been to recognize the central stimulus (car / truck / bus) and try to see the peripheral stimulus (Gabor test) at the same time. There have been 90 random stimuli for each task, in different eccentricities ( $3^\circ$  /  $6^\circ$  /  $9^\circ$  /  $12^\circ$ ) and, with three contrast sensitivities (1.00 / 1.13 / 1.44).

**CONCLUSIONS:** There is a decrease in the sensitivity to the contrast for any eccentric stimulus of up to  $12^\circ$  of eccentricity when moving from task 1 to 2 and from 2 to 3.

## SUMMARY

**INTRODUCTION:** The concept of useful visual field was introduced for the first time by Sanders [10] in which he spoke of the term "visual field functional" to indicate all this area of the visual field that provides information without moving our eyes or head. Finally, the term "useful visual field" was used by Ball et al. [11] which, later, would be associated to a specific test based on a computer program, the UFOV test (Useful Field Of View). It was designed to evaluate the speed of visual processing, the divided attention and the selective attention. The researchers demonstrated that visual attention is affected by the duration of the stimulus, the central difficulty of the task, the addition of secondary tasks and the presence of distractions.

**PURPOSE:**

**Main objectives:**

- ▶ To design a computer program which studies the useful visual field, based on the analysis of contrast sensitivity.
- ▶ To design a routine which studies the visual field loss in a simulated driving situation, based on the analysis of the loss of contrast sensitivity.

**Specific objectives:**

- ▶ To study the contrast sensitivity variations produced by eccentric stimuli up to 12° of eccentricity.
  - Hypothesis 1: for a task in which visual stimulus are static, the decrease in sensitivity to contrast is not very relevant in stimuli up to 12 degrees eccentricity.
  - Hypothesis 2: for a task that presents dynamic visual stimuli that simulate a driving situation, there is a decrease in contrast sensitivity when the excentricity of the stimuli up to 12° of eccentricity increases.
  - Hypothesis 3: for a task in which dynamic visual stimuli are presented, and in addition it is required to perform a simulated driving activity, there is a great decrease in sensitivity to the contrast when the excentricity of the stimuli up to 12° of eccentricity increases.

- ▶ To study the variations in contrast sensitivity that occur when you perform three different tasks: visualization of static stimuli, visualization of dynamic stimuli that simulate a driving activity, and visualization of dynamic stimuli plus performing a task of simulated driving.
  - Hypothesis 4: When we go from a task of visualizing static stimulus of static stimuli, to a task of visualizing of dynamic stimuli that simulates a driving activity, there is a decrease in sensitivity to the contrast for any eccentric stimulus of up to 12° of eccentricity.
  - Hypothesis 5: When we go from doing a task of visualization of dynamic stimuli that simulate a driving activity, to a task in which dynamic visual stimuli are presented, and in addition it is requested to perform a simulated driving activity, there is a decrease of the sensitivity to the contrast for any eccentric stimulus of up to 12° of eccentricity.

#### METHODOLOGY:

##### **Patient sample:**

The study was conducted with 17 patients, 9 women and 8 men, with an average age of 21'52 years and ranges aged between 19-23 years.

Patients who have been subjected to the study have passed the same screening dictated by the General Traffic Department, in order to simulate the conditions of daily life as much as possible. It should be noted that to be in the study patients had to present:

- Minimal binocular visual acuity of 0.5 with the best correction. The highest the VA is, less is the visual fatigue and the drivers reaction time.
- Unrestricted field of view (180 degrees in the horizontal and 90 degrees in the vertical).
- Good recovery to glare and mesopic conditions.
- Good operation of the extraocular muscles, by means of the analysis of the ocular movements: smooth, precise and constant.

**Material:**

On the other hand, the material used for the study was as it follows:

- Matlab Program: It has been used to generate all the Gabor stimuli with each orientation and contrast sensitivity, respectively. At the same time, it has been used to check the high and low levels of grey.
- Visualbasic.net program: it has been used to make calibration of the screen (ratio between gray level and luminance) and design the presentation of random Gabor stimuli that are projected onto the video game screen. Thanks to this program, both the central stimulus and the peripheral stimulus in one of the four possible meridians (horizontal, vertical, right oblique, left oblique) are presented at the same time. The central stimulus can be presented in the form of a car, truck or bus. The peripheral stimulus is presented in one of the four meridians mentioned above, and simultaneously, it is presented in one of the four directions, as well as one of the three contrast sensitivities (1.00 / 1.13 / 1.44) .
- Wii console: the basic tool along with the previous program to perform useful visual field analysis.
- Mario Kart (video game of the Wii) + driving control: to be able to simulate the conduction. As we will see later, it has been key to reproduce tasks 2 and 3.
- Television with an euroconnector: as the console that has been achieved has been the first model they designed, it was necessary to have a television with an euroconnector entry. At the same time, the infrared motion sensor bar has been placed on top of the device.
- Laptop: where the visualbasic.net program is presented. At the same time, thanks to this, we have been able to change the stimulus to reach the 270 presentations.
- SONY Black Trinitron 14 " monitor with HDMI input: where the image of the computer is projected, in order to overlay the image it projects along with the image of the television.
- Glass foil: thanks to it, the two images of both screens have been superimposed. It has been placed between the two screens, making an angle of 45 ° approximately with the monitor and the television (glass supported on a wooden support).

- Chinrest: tries to keep the same distance with the glass and the screens so that we always have the same eccentricity for the stimuli that are presented.
- GOSSEN MAVOLUX 5032C photometer - USB: measure the luminance of the SONY monitor.

**Technical:**

First, the patient's consent form has been signed. Next, in a laboratory next to the one of the study, the binocular AV was measured with the HOTV test, the binocular visual field with the tangent screen has been analyzed and, finally, extraocular muscles motility was examined. Once this screening has taken place, it has changed to a laboratory where light conditions have been scotopic from the beginning. This fact has facilitated the subject the visualization of the two images reflected in the glass lamina, since both present a high sensitivity to the contrast.

However, when performing the analysis with the first patient, it has been seen that despite having the lowest illumination conditions and the two screens with the maximum contrast, it has not been possible to correctly visualize the image of the monitor where the visualbasic.net program was presented because the television screen had a much higher contrast. That is why it has been decided to put a blue filter on television, to reduce more its contrast.

Once the patient has been seated and comfortably placed on the chin, we have proceeded to begin the study to evaluate useful field of view.

A brief explanation of each task has been made and a series of indications have been prepared; watch, identify and say at all times the central stimulus that appears every 3-4 seconds at the same time that, without diverting the fixation, you should try to see the peripheral stimulus. Generally, this time has been marked by how fast it took to point out the observer's previous response. On the other hand, the duration of the stimuli has always been 500 milliseconds.

Particular emphasis has been placed on the importance of focusing on the central stimulus in order to be able to give valid answer, as well as the importance of saying the stimuli verbally and not in a gestural way, since hands are busy driving the wheel in task 3. Then a small essay has been performed to appreciate the differences between the three central stimuli and the orientations of the four peripherals and thus, to assimilate the concepts swiftly.

In each task, 90 randomized and different stimuli were presented; 30 for sensitivity to contrast 1.00 / 30 for sensitivity 1.13 / 30 for sensitivity 1.44. Thus, the three sensitivities have been presented in each of the 30 positions. To carry out the analysis, an order has been followed in which the difficulty of the task has been increased. The organization has been the following:

- \* Task 1 (screen without movement): on a background not homogeneous but without movement. 90 random and consecutive central and peripheral stimuli have been presented at the same time.
- \* Task 2 (screen with movement): before this task, the patient was able to play a race in order to use this race as a background screen as well as unusual users of videoconsolas have been able to practice. Likewise, the presentation of the 90 central and peripheral ones has been repeated, now also randomly.
- \* Task 3 (screen with movement and driving): regardless of the time taken during the race, the patient has had to take the Wii driving control and drive while the 90 random stimuli were presented.

#### RESULTS:

After analyzing the results of the tasks, we observed different patterns, which allowed us to classify the majority of patients in two groups according to their behavior in front of each task with different contrast sensitivities. Both share the same characteristic: task 1 has no coherence.

- Group 1: it is characterized by having the same difficulty in performing task 2 and, on the other hand, when doing the task 3 there is a learning effect after having done the two other tasks previously.

- Group 2: It is characterized by presenting a learning effect in task 2 and, therefore, performing the task without difficulty but, on the other hand, upon arriving at task 3, there appears the added difficulty of driving and the % of correct answers returns to diminish.

#### CONCLUSIONS:

With respect to the general objectives we can affirm that:

- We have designed a computer program that allows us to study the useful visual field, based on the analysis of contrast sensitivity, by random presentation of Gabor stimuli of different contrasts, positions and orientations.
- We have designed a routine for the study of the loss visual field in a simulated driving situation, based on the analysis of the loss of contrast sensitivity. However, we believe that it is improved, because we believe that following the same order in the three tasks that the study consists, can cause a learning effect when it comes to doing the third task, which is the most demanding, and where it is to predict a clear decrease in the useful visual field, and also because the eccentricities considered in this routine are small (less than 12°).

With respect to the specific objectives we can say that:

- The hypothesis 1 has been fulfilled, in which we predict that for a task in which the visual stimuli are static, the decrease in sensitivity to contrast is not very relevant in stimuli up to 12 degrees eccentricity.
- The hypothesis 2 has been partially fulfilled, in which we predict that for a task in which dynamic visual stimuli are presented that simulate a driving situation, there is a decrease in sensitivity to the contrast when the eccentricity of the stimuli increases up to 12° of eccentricity. Specifically, this behavior has been clear for the eccentricities of 9° and 12°.
- The hypothesis 3 has not been fulfilled, in which we anticipate that for a task in which dynamic visual stimuli are presented, and in addition it is requested to carry out a simulated conduction activity, there is a significant decrease in sensitivity to contrast when the visual intensity increases. Eccentricity of stimuli of up to 12° of eccentricity.



A possible explanation might be that when performing the three tasks in order of difficulty (from less to more), there is a learning effect.

- The hypothesis 4 has been fulfilled, in which we predict that when we go on to do a task of visualizing a static stimuli, to a task of visualizing a dynamic stimuli that simulate a driving activity, there is a decrease in sensitivity to contrast for any eccentric stimulus of up to 12 degrees eccentricity.
- The hypothesis 5 has been fulfilled, in which we predict that when we go on to do a task of visualizing a dynamic stimuli that simulate a driving activity, a task in which dynamic visual stimuli are presented, and in addition it is required to perform a Simulated driving activity, there is a decrease in sensitivity to the contrast for any eccentric stimulus of up to 12 degrees eccentricity.

## ÍNDEX

1.	INTRODUCCIÓ.....	14
2.	MARC TEÒRIC.....	15
	2.1. VISIÓ MONOCULAR.....	15
	2.2. VISIÓ BINOCULAR.....	18
	2.2.1. VISIÓ I CAMP VISUAL CENTRAL.....	20
	2.2.2. VISIÓ I CAMP VISUAL PERIFÈRIC.....	22
	2.2.3. CAMP VISUAL ÚTIL.....	24
3.	OBJECTIUS.....	27
	3.1. OBJECTIUS GENERALS.....	27
	3.2. OBJECTIUS ESPECÍFICS.....	27
4.	MÈTODE.....	29
	4.1. MOSTRA DE PACIENTS.....	29
	4.2. MATERIAL.....	30
	4.3. TÈCNICA.....	33
5.	RESULTATS.....	41
6.	CONCLUSIONS.....	49
7.	DISCUSSIÓ.....	51
8.	REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES I ELECTRÒNIQUES.....	52
9.	ANNEX.....	55

## 1. INTRODUCCIÓ

Buscant idees per trobar un tema interessant i motivador pel Treball de Final de Grau, vaig veure una proposta de títol que em va cridar l'atenció: "La importància de la visió perifèrica".

De seguida, tant el meu tutor com jo ens vam posar a fer recerca sobre estudis que haguessin tractat aquest tema però, malauradament, vàrem veure que la majoria d'estudis indicaven més aviat el contrari de la meva afirmació: la visió perifèrica no ens és gaire important.

Degut a això, vàrem buscar altres estudis que no s'allunyessin gaire d'estudiar alguna cosa important de la visió perifèrica. Finalment, vam anar a topar amb la visió perifèrica relacionada amb la conducció. Així doncs, ens vàrem decantar per relacionar la visió perifèrica amb la conducció.

Segons la DGT, en l'última taula estadística emesa l'any 2016 [1], prop d'un 60% dels majors d'edat de la població espanyola està en possessió del permís de conducció. Atès que més de la meitat dels ciutadans espanyols poden conduir (en edat de fer-ho), vam considerar que era una situació molt important i comuna en la qual es podia demostrar que tenir visió perifèrica era important. D'aquesta manera, vàrem començar de nou una recerca enfocada en aquest sentit i, va ser així com vam descobrir l'existència de l'UFOV (Useful Visual Field Of View).

Altrament, s'allunyava de la idea inicial però, per altra banda teníem l'oportunitat d'estudiar i quantificar fins a quin punt n'era útil i important.

## 2. MARC TEÒRIC

A continuació, descriurem el procés visual, de menys a més complex, començant primer amb la visió monocular i acabant amb la visió binocular. Aprofitarem aquest fil per entendre també la progressió i la comparativa dels camps visuals.

### 2.1. VISIÓ MONOCULAR

Ens referirem a ella no com a la conseqüència d'una patologia i, per tant, la pèrdua de visió d'un ull sinó com a una condició en la que només existeix un ull percebent imatges. Partirem de "monovisió".

Així doncs, quan tenim visió monocular es diu que no es percep profunditat i això provoca confusió en les distàncies. A més a més, es genera una imatge plana i única. Tanmateix, des de ben petits, partim d'uns coneixements innats que ens proporcionen informació sobre la localització dels objectes:

1. Acomodació: podem notar sensiblement que si hem de fer esforç per enfocar un objecte voldrà dir que el tenim considerablement a prop (Fig.1).
2. Perspectiva lineal: és una il·lusió òptica que es produeix quan observem dues línies paral·leles convergint a l'infinit. Gràcies a aquest fenomen podem saber que com més separades estan les línies més proper està l'objecte (Fig. 2).
3. Perspectiva aèria: és la il·lusió òptica que percebem quan els objectes que estan més allunyats adopten colors més pàl·lids i difuminats. Aquesta percepció de profunditat es produeix per la difracció de la llum produïda per les partícules suspeses a l'atmosfera, especialment les gotes d'aigua i partícules de pols en suspensió (Fig. 3).
4. Sobreposició: és una il·lusió òptica en què un objecte és tapat parcialment per un altre. Aleshores, diem que l'objecte tapat es troba darrere del que l'està tapant (Fig. 4).

5. Gradient de textura: és la quantitat de detalls que presenta l'objecte. Com més detalls puguem percebre d'un estímul, més proper el tenim (Fig. 5).
6. Mida relativa: és el fenomen en què un objecte que produeix una imatge retinal més gran que un objecte similar es percebrà més proper (Fig. 6).
7. Lluminitat relativa: és la il·lusió òptica que es produeix quan un objecte brilla més que un altre molt similar a ell, aleshores, el percebem més a prop (Fig. 7).
8. Paral·laxi de moviment: és l'aparent desplaçament dels objectes a l'espai mentre l'observador es mou. Aquesta percepció de profunditat induïx que els objectes més propers es mouen més ràpidament que els objectes més distants (Fig. 8).

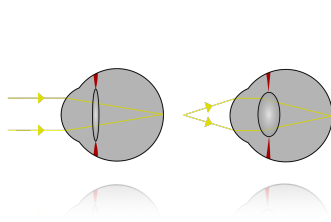


Figura 1. (fisicalab.com)

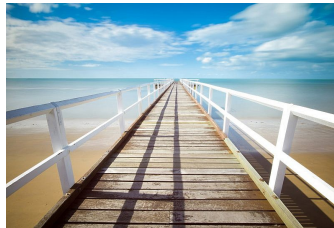


Figura 2. (dzoom.org)



Figura 3. (fotonostra.com)

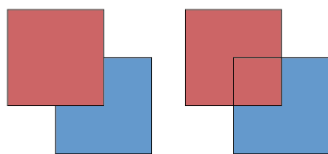


Figura 4. (easyprint.com)



Figura 5. (thinglink.com)



Figura 6. (emaze.com)



Figura 7. (huevaluechroma.com)

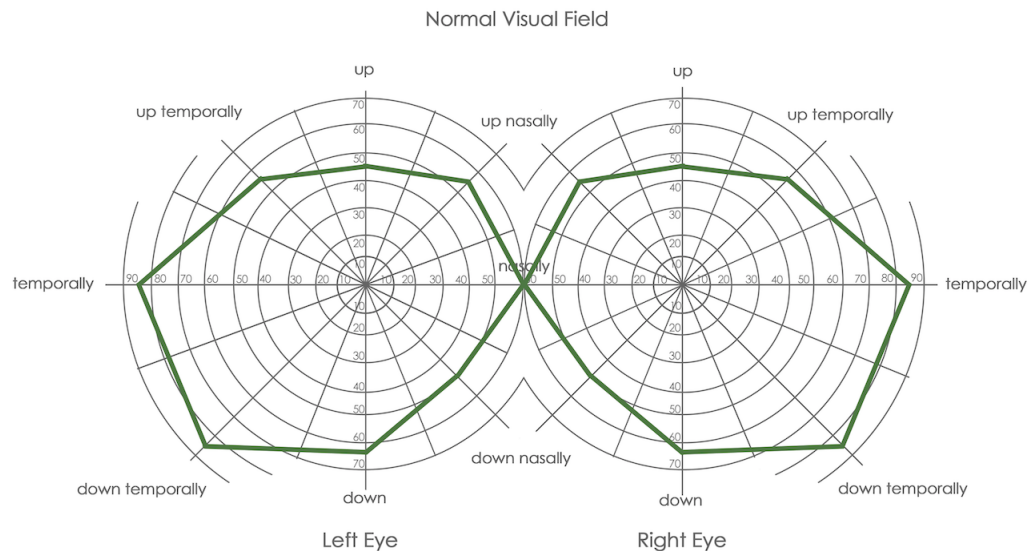


Figura 8. (flickr.com)

Per altra banda, un punt important a tractar de la visió monocular és el seu camp visual. Aquest, és definit com a tota aquella àrea que estimula la retina en un moment determinat, o bé, la quantitat d'espai que és capaç de percebre un ull mantenint la fixació en un punt.

Fixant-nos en l'última definició, trobem els límits del camp visual monocular d'un ull, fent fixar el pacient en posició primària de mirada (PPM) i mantenint el seu cap immòbil, en una mentonera per exemple.

El camp de visió monocular normal s'estén aproximadament uns 60° graus cap al costat nasal, 90° cap al costat temporal, 50° cap al costat superior i 70° cap al costat inferior, de cada ull respectivament (Fig. 9).



**Figura 9.** Camp de visió monocular normal d'ambdós ulls [2]

Cal remarcar la importància, en aquest estudi, de tenir un camp visual normal, tot i que també s'accepten els escotomes relatius no significatius en la sensibilitat retinal (com veurem més endavant, per tal d'ajustar-nos al màxim possible a la realitat).

Recordem que un escotoma relatiu és aquella zona del camp on la funció és inferior a la normal i per tant, existeix una disminució de la sensibilitat amb una conseqüent pèrdua d'AV, o de sensibilitat al contrast, per exemple.

Per tal de focalitzar aquest treball en la comparativa dels camps de visió útil en situació normal i en situació de conducció simulada, hem buscat els requisits necessaris per obtenir o prorrogar el carnet de conduir i d'aquesta manera tenir coneixement del Reglamento General de Conductores [3]. Aquest document recull tota la normativa que es demana als futurs conductors, com per exemple: capacitats visuals, malalties metabòliques i endocrines i sistema nerviós i muscular.

Existeixen dos grups de conductors; el Grup 1 es refereix a aquell col·lectiu de persones que adquireixen el carnet per fer un ús personal, no professional d'aquest. Per altra banda, el Grup 2 es refereix a aquell col·lectiu de persones que adquireixen el carnet de conduir per dedicar-se professionalment al transport de persones o mercaderies.

En aquest cas, cal aclarir que en el Grup 1 sí s'admet la monocularitat, sempre i quan l'AV de l'altre ull sigui  $AV \geq 0.6$ , i que el camp visual monocular tingui unes dimensions normals, sense escotomes absoluts ni relatiu significatiu en la sensibilitat retinal del camp visual central. Per obtenir o prorrogar el permís de conducció en el cas del Grup 2, no s'admet la visió monocular.

## 2.2. VISIÓ BINOCULAR

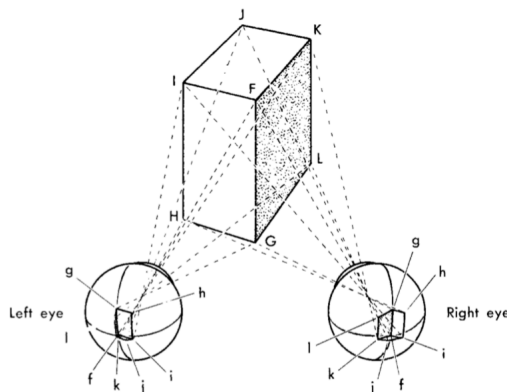
Un cop definida la visió monocular, ja ens podem centrar en descriure la condició binocular. La característica més fonamental de la que partim és que necessitem dos ulls per poder-la tenir. Si tots dos estan en bones condicions i reuneixen, a més a més tres característiques bàsiques, parlarem de visió binocular:

1. Fusió motora: es tracta de la capacitat que tenen de fixar-se els dos ulls alhora en un mateix punt. Quan això no passa, parlem d'estrabisme.
2. Fusió sensorial: es tracta de la capacitat que té el cervell per ajuntar les dues imatges que provenen de cada ull respectivament i formar una única percepció binocular.
3. Estereòpsia: és l'últim pas en la percepció visual. Es tracta de la capacitat que té el cervell per formar una única imatge tridimensional procedent de dues imatges planes.



Charles Wheatstone, gràcies a la seva invenció de l'estereoscopi en l'any 1838, va ser el primer en reconèixer que l'estereòpsia apareixia quan els elements retinals horitzontalment dispars eren presentats simultàniament. Wheatstone deia que un objecte situat al pla mig del cap produeix imatges desiguals en els dos ulls a causa de la separació horitzontal dels dos ulls (distància interpupil·lar). Per aquests motius geomètrics, cada ull rep una imatge lleugerament diferent (Fig. 10). L'angle amb què observem aquesta petita diferència s'anomena angle paral·làctic o angle de convergència. Un cop el cervell aconsegueix la fusió d'aquestes imatges, és percebuda com una única imatge amb profunditat sempre i quan les primeres es presentin dins l'àrea de Panum.

Per contra, el científic britànic va demostrar que el desplaçament vertical no produeix cap efecte estereoscòpic.



**Figura 10.** Objecte localitzat al pla mig del cap que crea imatges amb diferents disparitats retinals. La fusió d'aquestes provoca una imatge tridimensional.

Recordem que l'àrea de Panum és tota aquella zona de la retina d'un ull, que recull un conjunt de punts que en ser estimulats simultàniament amb la retina de l'altre ull, es perceben fusionats.

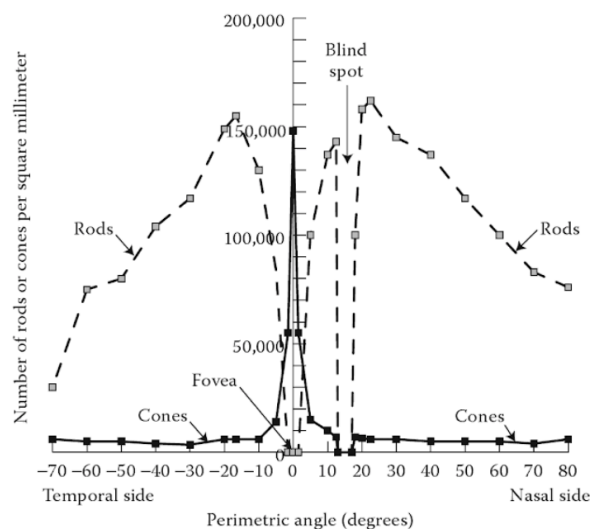
En conseqüència, cada punt de la retina té la seva àrea de Panum associada amb l'altre ull, per tant, un sistema visual sense cap tipus de disfunció binocular té un rang ampli de disparitats per percebre una imatge com única, simple i tridimensional.

En el cas de la visió binocular, cadascun dels grups de conductors reuneix unes condicions específiques per obtenir/prorrogar el carnet:

- Pel Grup 1, és obligatori tenir una agudesa visual, amb o sense correcció, igual o superior a 0.5 en l'escala decimal.
- Pel Grup 2, és obligatori tenir, amb o sense correcció, una mínima agudesa visual de 0.8 en el millor ull i 0.5 en el pitjor. Si el conductor precisa de l'ús d'ulleres, la potència d'aquestes no pot sumar més de 8 diòptries.

### 2.2.1. VISIÓ I CAMP VISUAL CENTRAL

Parlem de visió central quan es correspon amb la retina central. El punt de major agudesa visual es troba en la regió foveal, que ocupa entre  $1.0-1.8^\circ$ , aproximadament. Dins la fòvea, hi ha set milions de cons, que són els responsables de la visió del color. Aquesta àrea és tan sensible perquè conté 140,000 cons/mm<sup>2</sup>. En canvi, envoltant-la, trobem la regió extrafoveal que ocupa els següents  $30^\circ$  d'excentricitat i és aquí on disminueix considerablement l'existència de cons per mm<sup>2</sup>, entre els  $10^\circ$  i  $30^\circ$  passen d'haver-hi 10,000 a 5,000 cons/mm<sup>2</sup> (Fig.11).



**Figura 11.** Distribució dels receptors cons i bastons en l'ull humà [4].

Pel que fa al camp visual binocular, parlarem en conjunt (visió central més visió perifèrica). Segons J.C. Pastor Jimeno [5], el camp visual d'ambdós ulls és de  $180^\circ$  en el meridià horitzontal i  $120^\circ$  en el meridià vertical, aproximadament (Fig. 12).

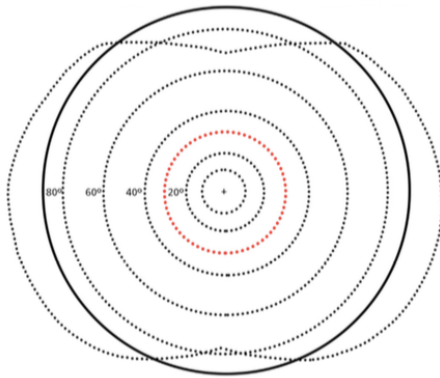


Figura 12. Camp de visió binocular [6].

Existeixen tres proves importants per a determinar el camp visual del pacient. A continuació les explicarem breument:

- ◆ Confrontació de camps: examen monocular. La prova es realitza amb dues persones i es confronten els camps de l'UD del pacient amb l'UE de l'examinador i viceversa. Cadascú s'ha de fixar en l'ull de l'altre i, seguidament, es demana trobar els límits de la perifèria on el pacient ja no pot percebre l'estímul que subjecten els dos amb una mà.
- ◆ Campimetria Computeritzada: examen monocular. Durant la prova van apareixent diversos llums de diferent intensitat i mida al fons del campímetre. Alhora que el pacient ha de mantenir la fixació en un punt central, mitjançant un botó, el pacient ha de prémer-lo cada vegada que vegi algun llum encès i no deixar-lo anar fins que s'apagui.
- ◆ Electrorretinografia (ERG): examen monocular. S'utilitza per mesurar l'activitat elèctrica de les cèl·lules de la retina en resposta a la llum, incloent els cons i els bastons.

Per acabar amb aquest subapartat, veurem les condicions que cal reunir en la visió i el camp binocular central a fi de poder obtenir/prorrogar el carnet:

- Pel grup 1, si existeix visió binocular normal, el camp visual, obligatòriament, ha de ser normal també. El camp visual central no pot presentar escotomes absoluts en punts corresponents d'ambdós ulls, ni escotomes relatius significatius en la sensibilitat retinal.
- Pel grup 2, s'examinen els dos camps visuals monoculars. No poden presentar reduccions significatives en cap meridià ni tampoc no cap tipus d'escotoma ni absolut ni relatiu significatiu en la sensibilitat retinal.

### 2.2.2. VISIÓ I CAMP VISUAL PERIFÈRIC

La visió perifèrica està definida com tota aquella zona que és percebuda fora de la màcula. La retina perifèrica comença després de la zona extrafoveal, que com ja hem dit anteriorment, ocupa els 30° d'excentricitat centrals, per tant, l'àrea perifèrica compren des dels 30° fins els 90° aproximadament. Es caracteritza per ser poc rica en la percepció de detalls però, en canvi, gràcies a ella podem percebre la presència d'objectes i moviments, sobretot en condicions de baixa lluminositat.

A partir de la figura anterior (Fig. 11) podem deduir que el número de bastons en la retina és considerablement major que el de cons, cada ull humà conté 120 milions d'aquests fotoreceptors. Tanmateix, presenten una elevada sensibilitat tot i que se saturen en condicions de molta il·luminació, així doncs, durant la nit, els objectes es poden veure per la part perifèrica de la retina mentre que són invisibles per a la retina central.

En la visió perifèrica es dona un fenomen anomenat amuntegament, també conegut com visual crowding. Consisteix en l'impediment del reconeixement d'objectes que es presenten fora de la fòvea i es veuen alterats per la presència d'altres objectes veïns (Fig. 13).



**Figura 13.** Visual Crowding [7]. A. Si ens fixem en la diana que hi ha al mig de la fotografia podem veure que el nen de la part esquerra ens és gairebé impossible percebre'l, en canvi, el nen de la part dreta el percebem sense dificultat. B. Si ens fixem en les creus, podem veure com som incapaços de distingir les formes, direccions de les línies i les lletres de la part inferior, en canvi, som perfectament capaços de distingir la forma, direcció de la línia i lletra de la part superior.

Segons l'estudi de Levi DM [7] en el qual va concloure que el fenomen d'amuntegament té múltiples etapes per les quals encara és un enigma en la jerarquia visual.

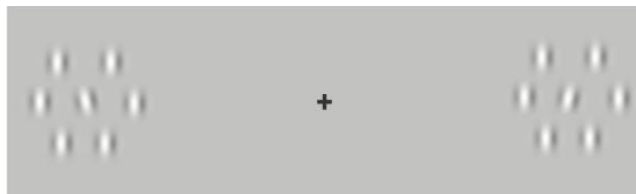
Tanmateix, els estudis més recents han establert que hi ha tres característiques pròpies per aquest fenomen:

1. Impedeix la identificació però no la detecció dels objectes.
2. Els objectes perifèrics es perceben si estan amb un alt contrast però són indistingibles si es presenten junts.
3. Espaiat crític: segons la llei de Bouma. L'objecte a reconèixer depèn de l'excentricitat i no pas de la mida d'aquest. En una excentricitat determinada, la identificació d'un objecte millora a mesura que augmenta la distància entre el blanc i el següent objecte. Bouma [8] va declarar "per a l'aïllament visual complet d'una carta presentada en una excentricitat de  $\phi^\circ$ , es dedueix que cap altra lletra ha de ser present (aproximadament) dins de  $0,5 \phi$  distància", donant lloc a la noció d'un "espaiatge crític" que és proporcional a l'excentricitat. La constant de proporcionalitat de Bouma, varia segons els estudis, depenent tant de la seva mesura com de la seva computació, però es considera que és  $\approx 0.4-0.5$ . D'aquesta manera, un objecte a una excentricitat de  $10^\circ$  pot estar atestat per altres objectes fins a  $5^\circ$ .

Per tant, podem concloure que l'espaiat crític depèn de les característiques de l'estímul, els requisits de la tasca i els factors d'atenció.

En un estudi de Parkes et al. [9] va demostrar que mentre els observadors no poden informar correctament l'orientació d'un dels estímuls del test de Gabor, en condicions d'amuntegament, poden informar de forma fiable l'orientació grupal, el que suggereix que els senyals d'orientació locals es combinen en comptes de provocar la pèrdua d'un d'ells (Fig. 14).

**Figura 14.** Test de Gabor [8]. Fixant-nos en la creu, podem veure que distingim correctament l'orientació del test de la dreta així com també ho podem fer amb el test de l'esquerra. Tanmateix, observem que en el centre de cadascun dels tests hi ha un estímul que no està posicionat verticalment.



### 2.2.3. CAMP VISUAL ÚTIL

El concepte de camp visual útil va ser introduït per primera vegada per Sanders [10] que parlava del terme “camp visual funcional” per indicar tota aquella àrea del camp visual que ens aporta informació sense moure els ulls ni el cap. Finalment, el terme “camp visual útil” va ser utilitzat per Ball et al. [11] que, posteriorment s'associaria a una prova específica basada en un programa d'ordinador, l'UFOV test (Useful Field Of View). Va ser dissenyat per avaluar la velocitat de processament visual, l'atenció dividida i l'atenció selectiva.

Els investigadors van demostrar que l'atenció visual es veu afectada per la durada de l'estímul, la dificultat central de la tasca, l'addició de tasques secundàries i la presència de distraccions.

També van poder confirmar que l'impacte d'aquests factors és proporcional a l'edat de les persones i, van estimar que el camp visual útil no va més enllà dels 15 - 20° d'excentricitat.

L'UFOV test consta de quatre subtests. El primer comporta la identificació d'un objectiu central presentat al monitor en una caixa de fixació de 3 cm x 3 cm. L'objectiu és reconèixer si s'està presentant un cotxe o un camió, ambdós de 2 cm x 1,5 cm. El segon subtest, que mesura la velocitat de processament per a una tasca d'atenció dividida, implica la identificació d'aquest objectiu central i la localització simultània d'un objecte perifèric que es troba en una excentricitat fixa de 12,5 cm respecte l'objecte central de la pantalla i es presenta en les vuit ubicacions radials. El tercer subtest inclou les dues primeres tasques, així com també 47 distraccions visuals (triangles de la mateixa mida i lluminositat que l'objecte perifèric). El quart subtest és similar al tercer, excepte que la tasca central és més exigent. En aquest últim, es presenten dos objectius a la caixa de fixació central (dos cotxes, dos camions o un cotxe i un camió) i el participant ha d'indicar si els objectius dins de la caixa són iguals o diferents. Com en el tercer subtest, també es requereix la localització simultània d'un objectiu perifèric que està camuflat enmig d'estímuls que distreuen.

Després que es dissenyés aquest test, els investigadors de la comunitat de recerca de conducció van continuar investigant en aquest tema però portant-s'ho cap al seu camp. Van realitzar estudis, entre ells el de Jess Gilland [12] en el que demostrava que l'UFOV disminuïa amb l'edat tot i no tenir cap patologia visual i, alhora, influïa en la probabilitat d'implicació d'accidents automobilístics.

Per altra banda, un estudi recent sobre el camp visual útil en condicions de conducció simulada, M.B. Crowell et al. [13], analitza els resultats obtinguts i arriben a la conclusió que l'UFOV pot no ser constant en tots els paràmetres de cada prova i excentricitat.

És per això que durant l'estudi, els subjectes analitzats van poder moure els ulls en comptes de tenir fixada la mirada en un estímul central.

Es va dur a terme amb un simulador i una pantalla, pel que fa als estímuls perifèrics, es va utilitzar els estímuls de Gabor. Aquests es presentaven aleatòriament en les excentricitats 5°, 10° i 15°, entre 5 i 10 segons i una durada de presentació de 67 mil·lisegons.



Un cop finalitzat l'estudi, van trobar una disminució de la detectabilitat de les senyals de perill amb una excentricitat creixent però no hi ha evidència d'un tall brusc després dels 20° radials, tal i com era d'esperar d'acord amb la definició d'UFOV.

En últim terme, trobem un estudi de George D. Park and Catherine L. Reed [14] que ha estat el més semblant al nostre. El seu objectiu principal és estudiar com el camp visual perifèric està distribuït en el context de la conducció mitjançant un cotxe simulador, anomenat STISIM Drive™, i un monitor LCD (1920 x 1200 píxels, amb un camp visual horitzontal de 60°). Aquest consta de dos experiments:

- Experiment 1: realitzat amb 17 subjectes (8 homes i 9 dones). Conté: condició 1 (cap fons, tasca central sola), condició 2 (cap fons, tasca central + perifèrica), condició 3 (conducció + tasca central sola) i condició 4 (conducció + tasca central i perifèrica). En aquest cas, no s'exigeix tenir un control del volant, és a dir, no importa si el vehicle es desvia de la carretera. La tasca central pot presentar-se en forma de cotxe o camió. La durada de l'estímul és de 160 o 260 mil·lisegons i tot seguit apareix una màscara que el tapa durant 250 ms més, finalment, passen 3 o 4 segons fins la següent presentació. Aquesta seqüència es repeteix 69 vegades aleatòriament. Pel que fa a l'estímul perifèric, es mostra un quadrat gris i s'estudia les excentricitats 10°, 20° i 30° respecte la tasca central en vuit posicions radials (quatre cardinals i quatre obliqües). El subjecte ha d'indicar en quina posició es troba la caixa grisa, referint-se a les hores del rellotge per tal d'evitar moviments del cap. RESULTATS: l'augment de l'excentricitat és proporcional al número d'errors.
- Experiment 2: realitzat amb 33 subjectes (22 homes i 11 dones). Consta de les mateixes tasques que en l'experiment anterior, ara però, el subjecte ha d'intentar mantenir-se sense desviar la direcció del vehicle. RESULTATS: semblants a l'experiment 1 tot i l'addició del control de direcció del vehicle.

### 3. OBJECTIUS I HIPOTESIS

#### 3.1. OBJECTIUS GENERALS

- Dissenyar un programa informàtic per poder estudiar el camp visual útil, a partir de l'anàlisi de la sensibilitat al contrast.
- Dissenyar una rutina per estudiar la pèrdua de camp visual útil en situació de conducció simulada, a partir de l'anàlisi de la pèrdua de sensibilitat al contrast.

#### 3.2. OBJECTIUS ESPECÍFICS

- Estudiar les variacions de sensibilitat al contrast que es produeixen per estímuls excèntrics de fins a 12° d'excentricitat.
  - ➔ Hipòtesi 1: per una tasca en la qual els estímuls visuals són estàtics, la disminució de sensibilitat al contrast no és gaire rellevant en estímuls de fins a 12° d'excentricitat.
  - ➔ Hipòtesi 2: per una tasca en la qual es presenten estímuls visuals dinàmics que simulen una situació de conducció, es produeix una disminució de sensibilitat al contrast quan augmenta l'excentricitat dels estímuls de fins a 12° d'excentricitat.
  - ➔ Hipòtesi 3: per una tasca en la qual es presenten estímuls visuals dinàmics, i a més es demana realitzar una activitat de conducció simulada, es produeix una gran disminució de sensibilitat al contrast quan augmenta l'excentricitat dels estímuls de fins a 12° d'excentricitat.
- Estudiar les variacions de sensibilitat al contrast que es produeixen quan s'estan fent tres tasques diferents: visualització d'estímuls estàtics, visualització d'estímuls dinàmics que simulen una activitat de conducció i visualització d'estímuls dinàmics més realització d'una tasca de conducció simulada.

- ➡ Hipòtesi 4: Quan passem de fer una tasca de visualització d'estímuls estàtics, a una tasca de visualització d'estímuls dinàmics que simulen una activitat de conducció, es produeix una disminució de la sensibilitat al contrast per qualsevol estímul excèntric de fins a  $12^\circ$  d'excentricitat.
- ➡ Hipòtesi 5: Quan passem de fer una tasca de visualització d'estímuls dinàmics que simulen una activitat de conducció, a una tasca en la qual es presenten estímuls visuals dinàmics, i a més es demana realitzar una activitat de conducció simulada, es produeix una disminució de la sensibilitat al contrast per qualsevol estímul excèntric de fins a  $12^\circ$  d'excentricitat.

## 4. MÈTODE

Abans de realitzar qualsevol tipus d'estudi amb éssers humans, és molt important conèixer els requisits ètics, legals i jurídics de la pràctica d'aquest. És per això, que l'Associació Mèdica Mundial (AMM) va promoure la Declaració de Hèlsinki [15] com una proposta de principis ètics per a la investigació mèdica amb éssers humans. Aquest, és un document internacional molt important en l'ètica de la investigació biomèdica, aplicable des de juny de 1964, que s'utilitza quan es duen a terme estudis amb persones humanes. Dicta que s'ha de realitzar una explicació del projecte i del mètode que es seguirà. L'explicació ha d'incloure els possibles beneficis i riscos obtinguts en altres estudis semblants.

Conseqüentment, el nostre anàlisi ha estat basat en la Declaració de Hèlsinki. Ara bé, en el nostre cas, l'estudi no contenia cap risc ja que les proves realitzades no han estat invasives i no hem entrat en contacte amb l'ull del pacient.

Els individus estudiats són persones voluntàries a les quals se'ls ha explicat prèviament tota la informació de l'estudi, s'ha respectat la confidencialitat guardant la seva identitat i han firmat el full de consentiment informat, on es troba tota la informació detallada (Annex 1).

### 4.1. MOSTRA DE PACIENTS

L'estudi s'ha realitzat amb 17 pacients, 9 dones i 8 homes, amb una mitjana d'edat de 21'52 anys i rangs d'edat d'entre 19 - 23 anys.

Els pacients que han estat subjectes de l'estudi han passat el mateix cribratge que dicta la Dirección General de Tráfico, per tal de simular al màxim possible les condicions de la vida quotidiana.

Cal destacar que per pertànyer a l'estudi s'han agafat pacients que presentessin:

- Agudesa visual binocular mínima de 0,5 amb la millor correcció. Com més alta és l'AV, menys fatiga visual i menys temps de reacció necessita el conductor. Per tant, representa un factor molt important a tenir en compte a l'hora del cribratge.
- Camp visual sense restriccions (180° en l'horitzontal i 90° graus en el vertical).
- Bona recuperació a l'enlluernament i a les condicions mesòpiques.
- Bon funcionament dels músculs extraoculars, mitjançant l'anàlisi dels moviments oculars: suaus, precisos i constants.

S'ha exclòs de l'estudi a pacients que presentaven:

- Nistagmus, si impedia obtenir el nivell mínim d'AV, pel que fa a la motilitat del globus ocular.
- Estrabisme, si impedia arribar al nivell mínim d'AV, pel que fa a la motilitat del globus ocular.
- Ptosí i lagofàlmia, pel que respecte a la motilitat palpebral.
- Diplopia, pel que respecte a la motilitat del globus ocular.
- Alteracions significatives en la capacitat de recuperació a l'enlluernament i alteracions en la visió mesòpica, pel que respecte a la sensibilitat al contrast.

## 4.2. MATERIAL

Per poder començar l'estudi i realitzar el cribratge s'ha utilitzat:

- Pantalla tangent: comprovar que no existien restriccions en el camp visual binocular. La prova s'ha realitzat a 1 m per poder descartar restriccions en els 60° centrals (Fig. 15).

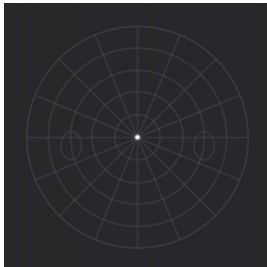


Figura 15. Pantalla tangent (uvadoc.uva.es)

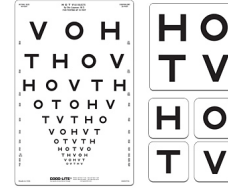


Figura 16. Test HOTV (precision-vision.com)

- Test d'agudeses visual (HDTV): comprovar que l'agudeses visual binocular sigui major a 0.5, presentat a 4 m (tal i com dicta la carta del test) (Fig. 16).
- Bolígraf amb estímul a la punta: per valorar la motilitat ocular extrínseca.

D'altra banda, el material que s'ha emprat per l'estudi ha sigut el següent:

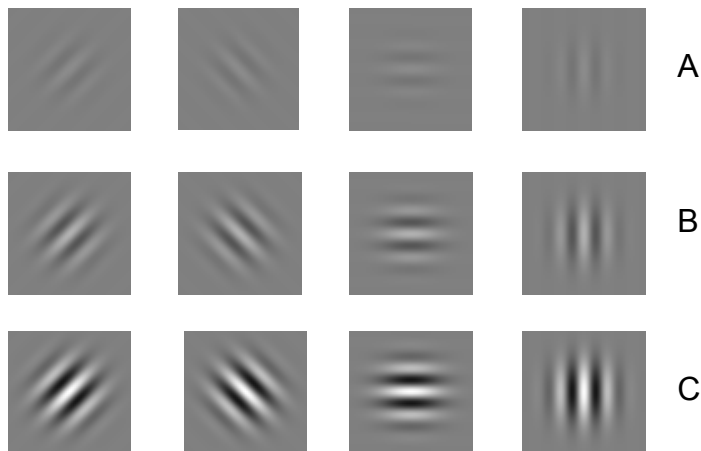
- Programa Matlab: s'ha utilitzat per generar tots els estímuls de Gabor amb cada orientació i sensibilitat al contrast, respectivament. Al mateix temps, s'ha utilitzat per comprovar els nivells de gris màxim i mínim d'aquests.
- Programa visualbasic.net: s'ha utilitzat per fer el calibratge de la pantalla (relació entre nivell de gris i luminància) i dissenyar la presentació d'estímuls de Gabor aleatoris que es projecten sobre la pantalla del videojoc. Gràcies a aquest programa es presenta, alhora, l'estímul central i l'estímul perifèric en algun dels quatre possibles meridians (horitzontal, vertical, oblic dret, oblic esquerre).

L'estímul central pot presentar-se en forma de cotxe, camió o autobús (Fig. 17). Tot seguit, es mostra cada figura respectivament:



Figura 17. Estímul central que es presenta en el programa visualbasic.net, es tracta que el pacient reconeixi aquesta figura mentre intenta veure l'estímul perifèric.

L'estímul perifèric es presenta en un dels quatre meridians esmentats anteriorment, i simultàniament, es presenta en una de les quatre orientacions (dreta, esquerra, vertical o horitzontal), així com també amb una de les tres sensibilitats al contrast (1,00/1,13/1,44) (Fig. 18):



**Figura 18.** Test de Gabor. A: sensibilitat al contrast 1,44. B: sensibilitat al contrast 1,13. C: sensibilitat al contrast 1,00.



**Figura 19.** Muntatge realitzat per l'estudi del camp visual útil.

- Consola Wii: l'eina bàsica juntament amb el programa anterior per realitzar l'anàlisi del camp visual útil.
- Mario Kart (vídeojoc de la Wii) + comandament volant: per poder simular la conducció. Com ja veurem més endavant, ha estat clau per reproduir la tasca 2 i 3.
- Televisió amb euroconnector: en tant que la videoconsola que s'ha aconseguit ha sigut el primer model que van dissenyar, calia tenir una televisió amb entrada per euroconnector. Al mateix temps, s'ha col·locat la barra de sensor de moviment infraroig a sobre de l'aparell.



- Ordinador portàtil: lloc on es presenta el programa de visualbasic.net. Alhora, és gràcies a aquest que s'ha pogut anar canviant l'estímul, fins a arribar a les 270 presentacions.
- Monitor SONY Black Trinitron 14" amb entrada HDMI: lloc on es projecta la imatge de l'ordinador, per tal de poder sobreposar la imatge que emet juntament amb la de la televisió.
- Làmina de vidre: gràcies a ella s'ha pogut sobreposar les dues imatges d'ambdues pantalles. S'ha col·locat entremig de les dues pantalles, formant un angle de  $45^\circ$  aproximadament respecte el monitor i la televisió, tal i com es mostra en la Figura 19 (vidre recolzat sobre un suport de fusta).  
Quan un feix de llum incideix sobre la superfície del vidre, una part del feix es reflecteix i una altra es refracta. Tot i que la proporció de llum reflectida és petita, s'ha treballat amb il·luminació ambiental molt baixa, i atenuant l'emissió del monitor mitjançant un filtre, per tal d'obtenir una luminància molt semblant de tots els estímuls (estímul central, estímul de Gabor i imatges del videojoc).
- Mentonera: fixada a una distància de 650 mm respecte la pantalla de l'ordinador que genera els estímuls centrals i de Gabor, per tal d'obtenir les excentricitats desitjades a l'estudi.
- Fotòmetre GOSSEN MAVOLUX 5032C - USB: mesurar la luminància del monitor SONY.

### 4.3. TÈCNICA

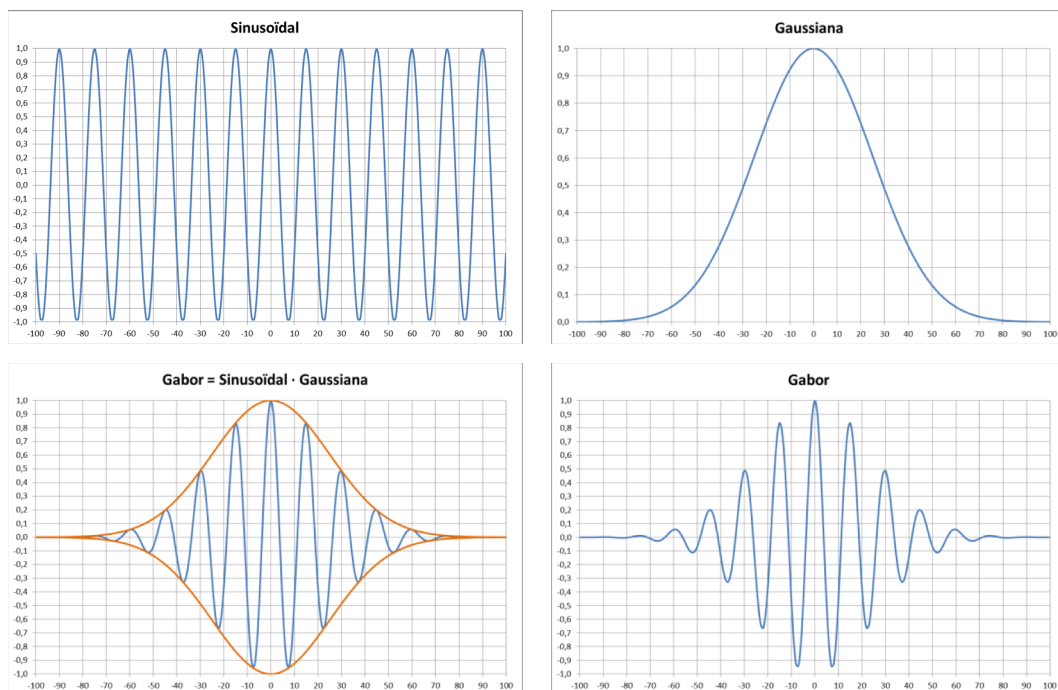
Dividirem aquest apartat en dues parts. Al llarg de la primera, parlarem sobre el disseny de l'experiment. I, tot seguit, en la segona part descriurem amb detall el protocol seguit per fer les mesures, i les instruccions donades als pacients per tal de portar-lo a terme.

## Disseny de l'experiment

Primerament, cal dir que hem decidit utilitzar estímuls de Gabor per fer aquest estudi del Camp Visual Útil. S'ha cregut convenient fer-ho així ja que els estímuls de Gabor s'han utilitzat en molts altres estudis de visió perifèrica així com també en altres relacionats amb el còrtex visual [13] [16].

L'estímul Gabor consisteix en una funció sinusoidal multiplicada per una funció gaussiana. El principal avantatge que s'obté en introduir la modulació de la funció de Gauss és que les funcions de Gabor estan localitzades tant en el domini espacial com en el de la freqüència, a diferència del què passa amb les funcions sinusoidals, que estan perfectament localitzades en el domini freqüencial (la separació entre màxims i mínims de luminància és fixa, i està perfectament definida) i completament deslocalitzades en l'espacial (una funció sinusoidal s'estén infinitament en l'espai, no té límit).

Per tant, si apliquem això a les franges d'un estímulo de Gabor, evitem que a les vores de l'estímul hi hagi canvis bruscos de luminància, respecte la luminància del fons, cosa que alteraria la sensibilitat al contrast de l'estímul dissenyat.



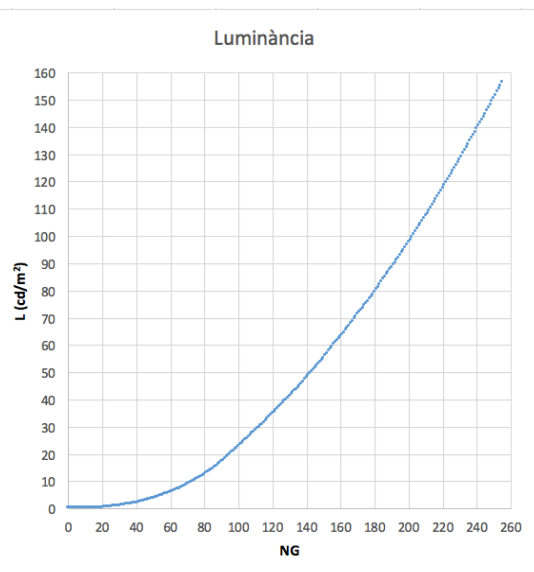
**Figura 20.** Generació de la funció de Gabor, a partir del producte d'una funció sinusoidal i una funció gaussiana. El resultat és una funció sinusoidal modulada per la funció gaussiana.

Els paràmetres de freqüència, desviació estàndard, descentrat, i valor màxim i mínim de la funció de Gabor es van escollir en el moment de generar aquests estímuls amb MATLAB, amb la finalitat d'aconseguir les següents condicions:

- El centre de tots els estímuls de Gabor ha d'assolir el màxim de luminància desitjat.
- El diàmetre d'un estímulo determinat ha de ser de l'ordre d'  $1.5^\circ$  (finalment han sigut d'  $1.6^\circ$ , per adequar-lo de la millor manera a la mida dels píxels de la pantalla).
- En les dimensions d'un estímulo de Gabor ha d'haver al menys 4 cicles.
- La luminància mitjana de tots els estímuls ha de ser igual a la corresponent al nivell de gris mig de la pantalla (nivell de gris 128, que és el nivell central entre el 0 i el 255).
- Les orientacions de les franges han de ser  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  i  $135^\circ$ .

Per poder calcular la sensibilitat al contrast de cadascun dels estímuls vam procedir a fer les mesures necessàries per establir la relació entre el nivell de gris (NG) dels píxels de la pantalla d'ordinador, i la luminància (L) que emeten aquests píxels.

Amb l'ajuda del fotòmetre un estudi fotomètric i d'una rutina programada en VB.Net, s'ha mesurat la luminància corresponent de cada nivell de gris (de 5 en 5). A continuació, es mostra la gràfica de la luminància (Fig. 21) per cada nivell de gris.



**Figura 21.** Corba de luminància per cada gris corresponent.

No obstant, quan es generen els estímuls de Gabor i s'indiquen els valors màxim i mínim de luminància que ha de tenir un determinat estímulo, s'ha de tenir en compte que aquest test sí que arriba a mostrar la luminància màxima escollida, però no passa el mateix amb la luminància mínima, tal com es pot deduir de la figura 20. Conseqüentment, s'ha ordenat al programa que ens informi del nivell de gris màxim i mínim real que conté cada estímulo de Gabor.

Els estímuls s'han generat escollint 3 contrastos que venen determinats per utilitzar el 100% dels nivells de gris (entre 0 i 255), el 50% central dels nivells de gris (entre 64 i 191), i el 30% central dels nivells de gris (entre 90 i 166).

A partir d'aquests valors, i tenint en compte els valors reals de nivell de gris mostrats en els diferents estímuls de Gabor, s'han obtingut els següents contrastos i sensibilitats al contrast:

100	
NG	L (cd/m <sup>2</sup> )
255	156,50
21	0,66
C	SC
0,9958	1,00

50	
NG	L (cd/m <sup>2</sup> )
191	89,58
74	10,44
C	SC
0,8835	1,13

30	
NG	L (cd/m <sup>2</sup> )
166	68,06
96	20,76
C	SC
0,6950	1,44

C = Contrast =  $(L_{\max} - L_{\min}) / L_{\max}$   
SC = Sensibilitat al Contrast =  $1/C$

A continuació, expliquem com s'ha calculat l'excentricitat dels estímuls perifèrics, per fer-ho ens ajudarem de la taula d'Excel de la figura 22.

S'ha mesurat la distància (d) des de l'ull fins al monitor, sent mentonera - làmina de vidre = 330 mm i làmina de vidre - monitor = 320 mm. També s'ha mesurat, en mil·límetres, l'horitzontal i la vertical de l'ordinador portàtil, sent H = 244,5 mm i V = 168,5 mm, a partir d'aquí el programa visualbasic.net ha generat els càlculs de píxels H (1024), píxels V (768), mida del píxel (0,2967) i el diàmetre de l'estímulo en píxels (61).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	d (mm)		píxels H	píxels V			t <sub>vidre</sub> (mm)													
2	650		1024	768			0,2967													
3																				
4		Ø <sub>vid</sub> (píxels)			Ø <sub>vid</sub> (mm)			Ø <sub>vid</sub> (°)												
5		61			18,099			1,59												
6																				
7	Posició	x (píxels)	y (píxels)		x (mm)	y (mm)	meridià (°)	excentr. (°)												
8	0	41	385		-139,746	-0,297	180,12	12,13												
9	1	159	385		-104,735	-0,297	180,16	9,15												
10	2	277	385		-69,725	-0,297	180,24	6,12												
11	3	395	385		-34,714	-0,297	180,49	3,06												
12	4	631	385		35,307	-0,297	359,52	3,11												
13	5	749	385		70,318	-0,297	359,76	6,17												
14	6	867	385		105,329	-0,297	359,84	9,20												
15	7	985	385		140,339	-0,297	359,88	12,18												
16	8	513	31		0,297	104,735	89,84	9,15												
17	9	513	149		0,297	69,725	89,76	6,12												
18	10	513	267		0,297	34,714	89,51	3,06												
19	11	513	503		0,297	-35,307	270,48	3,11												
20	12	513	621		0,297	-70,318	270,24	6,17												
21	13	513	739		0,297	-105,329	270,16	9,20												
22	14	180	52		-98,504	98,504	135,00	12,10												
23	15	263	135		-73,878	73,878	135,00	9,13												
24	16	347	219		-48,956	48,956	135,00	6,08												
25	17	430	302		-24,329	24,329	135,00	3,03												
26	18	846	718		99,098	-99,098	315,00	12,17												
27	19	763	635		74,472	-74,472	315,00	9,20												
28	20	679	551		49,549	-49,549	315,00	6,15												
29	21	596	468		24,923	-24,923	315,00	3,10												
30	22	180	718		-98,504	-99,098	225,17	12,13												
31	23	263	635		-73,878	-74,472	225,23	9,17												
32	24	347	551		-48,956	-49,549	225,35	6,12												
33	25	430	468		-24,329	-24,923	225,69	3,07												
34	26	846	52		99,098	98,504	44,83	12,13												
35	27	763	135		74,472	73,878	44,77	9,17												
36	28	679	219		49,549	48,956	44,65	6,12												
37	29	596	302		24,923	24,329	44,31	3,07												

Figura 22. Càlculs realitzats amb l'excel per trobar les excentricitats dels estímuls.

En la columna A, s'ha establert l'ordre del 0 al 29 per referir-nos a la posició de l'estímul tal i com es mostra en el mapa (Fig. 23).

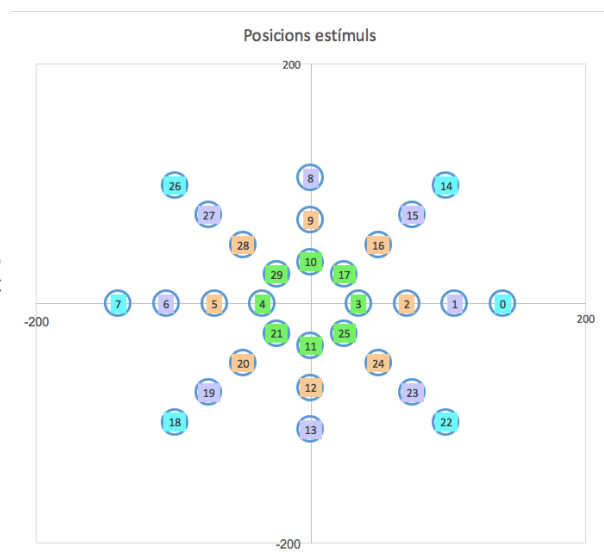
Tot seguit, en la columna B i C, el programa ha distribuït la posició dels estímuls (en píxel) en funció de l'espai del monitor (pantalla connectada a l'ordinador portàtil), respecte l'origen de coordenades (1,1) situat a la cantonada superior esquerra. Les columnes E i F, ens aporten la mateixa informació que les dues anteriors però en mil·límetres i tenint en compte que l'origen de coordenades és el centre de la pantalla (0,0). Les columnes K i L són les mateixes que E i F però, amb el signe invertit ja que tenim en compte la reflexió que s'ha produït en el vidre que ha invertit l'esquerra i la dreta.

La columna N, ens diu el meridià on està situat cada estímul; meridià 0° = horitzontal dret / 45° = oblic superior dret / 90° = vertical superior / 135° = oblic superior esquerre / 180° = horitzontal esquerre / 225° = oblic inferior esquerre / 270° = vertical inferior / 315° = oblic inferior dret.

Finalment, la columna O ens informa de l'excentricitat (°) de l'estímul respecte l'origen de coordenades (0,0), que ve determinada per la següent fórmula:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{650}\right)$$

**Figura 23.** Esquema de la presentació d'estímuls amb la seva corresponent excentricitat (3°, 6°, 9° o 12°) i meridians.

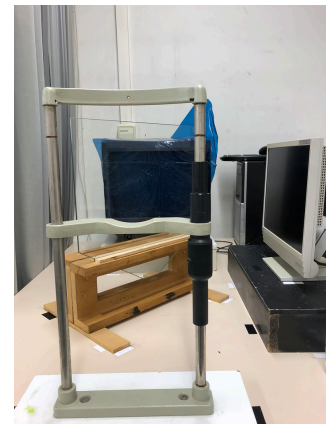


## L'experiment

En primer lloc, s'ha fet firmar al pacient el full del consentiment informat. Seguidament, en un laboratori paral·lel al de l'estudi, s'ha mesurat l'AV binocular amb el test HOTV, s'ha analitzat el camp visual binocular amb la pantalla tangent i, per últim, s'ha examinat la motilitat dels músculs extraoculars.

Un cop realitzat aquest cribratge, s'ha canviat de laboratori on les condicions lumíniques han estat, des de l'inici, escotòpiques. Aquest fet, ha facilitat al subjecte la visualització de les dues imatges reflexades en la làmina de vidre, ja que ambdues presenten una alta sensibilitat al contrast.

Tanmateix, a l'hora de realitzar l'anàlisi amb el primer pacient, s'ha vist que tot i amb les condicions més baixes d'il·luminació i les dues pantalles amb el contrast al màxim, no ha estat possible visualitzar correctament la imatge del monitor on es presentava el programa visualbasic.net perquè la pantalla de la televisió tenia un contrast molt més elevat. És per això, que s'ha decidit col·locar un filtre blau sobre la televisió, per poder reduir encara més el seu contrast (Fig. 24).



**Figura 24.** Muntatge realitzat per l'estudi del camp visual útil amb filtre blau sobre la televisió.

Un cop el pacient s'ha assegut i recolzat còmodament en la mentonera, hem procedit a l'inici de l'estudi per avaluar el camp de visió útil.

S'ha fet una breu explicació de cada tasca i s'ha pautat una sèrie d'indicacions; fixar-se, identificar i dir en tot moment l'estímul central que apareix cada 3 - 4 segons alhora que, sense desviar la fixació, ha d'intentar veure l'estímul perifèric. Generalment, aquest temps ha estat marcat per la rapidesa en què s'ha trigat en apuntar la resposta anterior de l'observador. Per altra banda, la durada dels estímuls ha estat sempre de 500 mil·lisegons.

S'ha posat especial èmfasi en la importància de fixar la mirada en l'estímul central per tal de poder donar per vàlida la resposta, així com també s'ha remarcat la importància de dir els estímuls verbalment i no de manera gestual ja que durant la Tasca 3, les mans estan ocupades conduint el volant. Tot seguit, s'ha realitzat un petit assaig per poder apreciar les diferències entre els tres estímuls centrals i les orientacions dels quatre perifèrics i així, poder assimilar els conceptes àgilment.



En cada tasca s'ha presentat 90 estímuls aleatoris i diferents; 30 per a sensibilitat al contrast 1,00 / 30 per a sensibilitat 1,13 / 30 per a sensibilitat 1,44. Així és que les tres sensibilitats s'han presentat en cadascuna de les 30 posicions. Per realitzar l'anàlisi s'ha seguit un ordre en el que s'ha anat incrementant la dificultat de la tasca. L'organització ha estat la següent:

- Tasca 1 (pantalla sense moviment): sobre un fons no homogeni però sense moviment (Fig. 25a). S'ha presentat 90 estímuls centrals i perifèrics aleatoris i consecutius, al mateix temps. Simultàniament, s'ha anotat les respostes, camió i dreta per exemple.
- Tasca 2 (pantalla amb moviment): prèviament a aquesta tasca s'ha deixat jugar al pacient una cursa per així utilitzar de fons de pantalla la "repetició de la partida" ahora que els usuaris no habituals de videoconsoles han pogut practicar. Així mateix, s'ha repetit la presentació dels 90 centrals i perifèrics, ara també aleatòriament.
- Tasca 3 (pantalla amb moviment i conducció): sense importar el temps que s'ha trigat en realitzar la cursa, el pacient ha hagut d'agafar el volant de la Wii i conduir ahora que s'ha presentat, per darrera vegada, els 90 estímuls aleatoris (Fig. 25b).



**Figura 25a.** Realització de la tasca 1. S'observa la televisió amb un fons heterogeni sense moviment i la reflexió del monitor sobre la làmina de vidre.



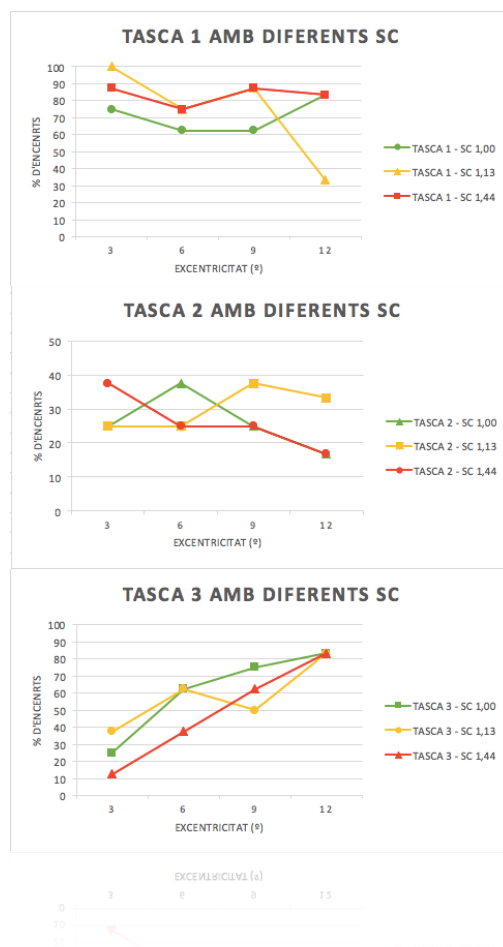
**Figura 25b.** Realització de la tasca 3. S'observa la cursa que està realitzant la pacient amb el volant a la mà així com també la reflexió del monitor sobre la làmina de vidre.



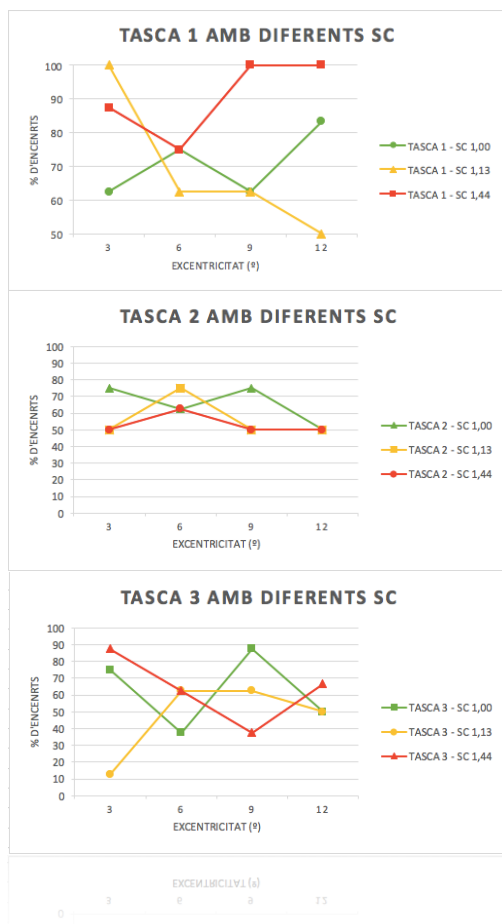
## 5. RESULTATS

Després d'analitzar els resultats de les tasques, hem observat diferents patrons, cosa que ens ha permès classificar la gran majoria dels pacients en dos grups segons el seu comportament davant de cada tasca amb les diferents sensibilitats al contrast. Tots dos, comparteixen la mateixa característica: la tasca 1 no té coherència.

- ✓ Grup 1: es caracteritza per presentar la mateixa dificultat en realitzar la tasca 2 i, en canvi, a l'hora de realitzar la tasca 3 existeix un aprenentatge després d'haver realitzat anteriorment les dues altres tasques (Fig. 26a).
- ✓ Grup 2: es caracteritza per presentar un aprenentatge en la tasca 2 i, per tant, realitzar la tasca sense dificultat però, en canvi, en arribar a la tasca 3, apareix la dificultat afegida de la conducció i, el % de respostes encertades torna a disminuir (Fig. 26b).



**Figura 26a.** Gràfiques del patró Grup 1. S'observa que en la gràfica de la tasca 1 amb les diferents SC, no existeix cap lògica que justifiqui els resultats. Els colors de cada sensibilitat estan representant, suposadament, la dificultat de la SC, per tant, la línia verda hauria d'estar a dalt, la groga al mig i la vermella a baix i, podem observar com no és així. Pels resultats de la tasca 2, passa exactament igual que amb l'anterior. Tanmateix, en la tasca 3, s'observa una igualtat de dificultat en les tres tasques que disminueix a mesura que augmenta l'excentricitat.

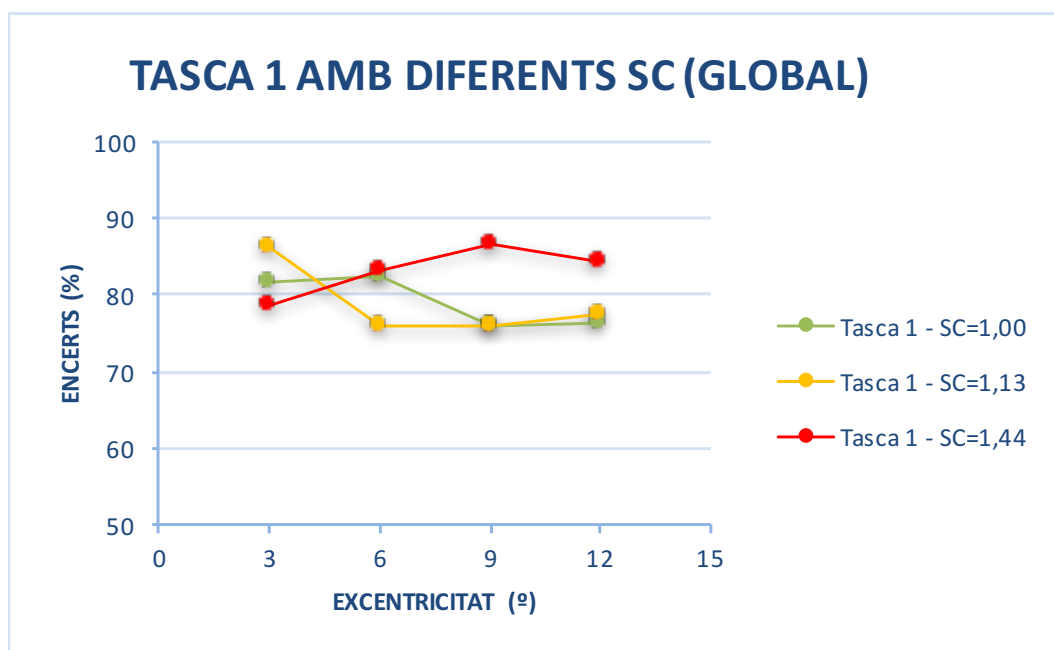


**Figura 26b.** Gràfiques del patró Grup 2. Altre cop, la tasca 1 en funció de les tres sensibilitats al contrast no té lògica. Seguidament, però, en obtenir els resultats de la tasca 2, observem que hi ha hagut un aprenentatge ja que les tres sensibilitats costen per igual i el % d'encerts de totes tres oscil·la entre el 50 - 80%. Per últim, la tasca 3 té uns resultats molt variants que es pot explicar degut a l'addició de la conducció.

Tot seguit, es mostrarà les gràfiques globals obtingudes a partir dels resultats dels 17 pacients abans però, ens fixem en la taula resum global (Fig. 27) en la que s'ha agafat dos decimals per acotar millor algun cas concret de % d'encerts.

GLOBAL					
Exc (°)	Contrast	SC	T1	T2	T3
3	0,9958	1,00	81,62	72,79	56,62
	0,8835	1,13	86,03	72,06	55,15
	0,6950	1,44	78,68	78,68	56,62
6	0,9958	1,00	82,35	72,06	55,15
	0,8835	1,13	75,74	72,06	61,76
	0,6950	1,44	83,09	75,00	61,03
9	0,9958	1,00	75,74	71,32	58,82
	0,8835	1,13	75,74	68,38	60,29
	0,6950	1,44	86,76	67,65	58,09
12	0,9958	1,00	76,47	78,43	56,86
	0,8835	1,13	77,45	71,57	57,84
	0,6950	1,44	84,31	64,71	63,73

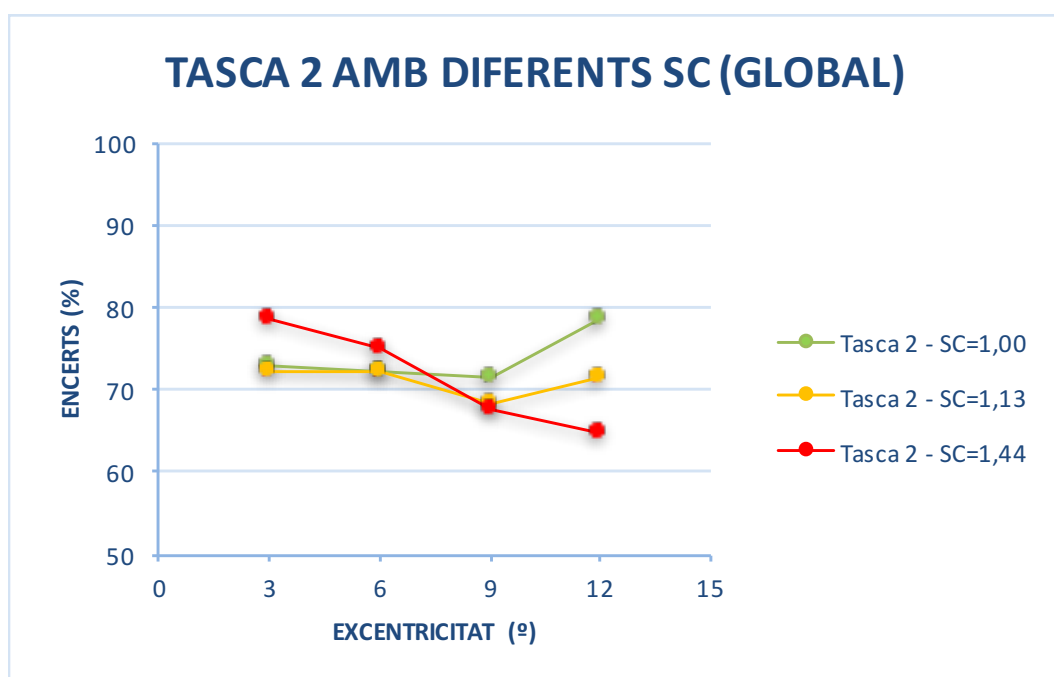
**Figura 27.** Taula global on cada resposta global pertany a una excentricitat, contrast i sensibilitat al contrast.



**Figura 28.** Gràfica global 1. Es representa la tasca 1 per cada sensibilitat al contrast, el % d'encerts en funció de l'excentricitat.

A partir de la gràfica anterior, observem que la sensibilitat d'1,00 i d'1,13 es comporten gairebé iguals menys en les dues primeres excentricitats (3° i 6°). La primera parteix del 81,62% dels encerts i continua creixent amb un 82,35%, després però, baixa fins al 75,74% i acaba el recorregut amb una mínima crescuda, del 76,47%. Ara bé, la segona comença en un 86,03% d'encerts però, ràpidament baixa quan augmenta l'excentricitat (6°) fins al 75,74%, es manté així en la següent excentricitat i, finalment en l'excentricitat 12° torna a créixer mínimament fins a 77,45%. Per altra banda, la sensibilitat al contrast d'1,44 és, sense dubte, la que destaca més ja que comença amb un 78,68% essent aquest número el mínim d'aquesta SC però alhora, essent més alt en comparació amb altres punts de les altres SC. Continua creixent fins a 86,76 en l'excentricitat 9° i, és aleshores quan davalla una mica, fins a 84,31%.

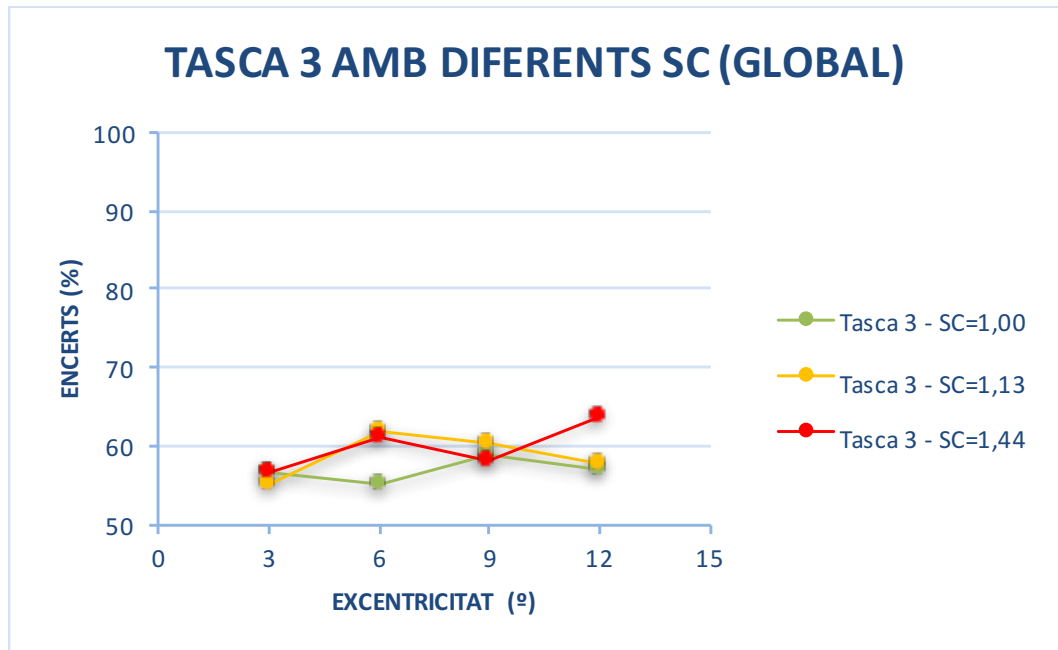
En general, podem concloure que el tant per cent d'encerts es mou entre el 70-90.



**Figura 29.** Gràfica global 2. Es representa la tasca 2 per cada sensibilitat al contrast, el % d'encerts en funció de l'excentricitat.

En aquesta gràfica, les dues primeres SC (1,00 i 1,13) tornen a tenir un comportament semblant. Les dues comencem amb un 72,79% i 72,06%, respectivament, continuen amb un 72,06% en l'excentricitat 6° i, seguidament, es separen però seguint un camí paral·lel; la primera decreix fins a un 71,32% i torna a créixer fins a acabar amb un 78,43% i, la segona decreix amb un 68,38% tot i que finalment, creix fins al 71,57%. D'altra banda, la sensibilitat al contrast d'1,44 decreix amb l'augment de l'excentricitat; comença amb un 78,68% (màxim absolut) i acaba amb 64,71% (mínim absolut).

En conjunt, ens fixem que el % d'encerts oscil·la entre el 60-80.



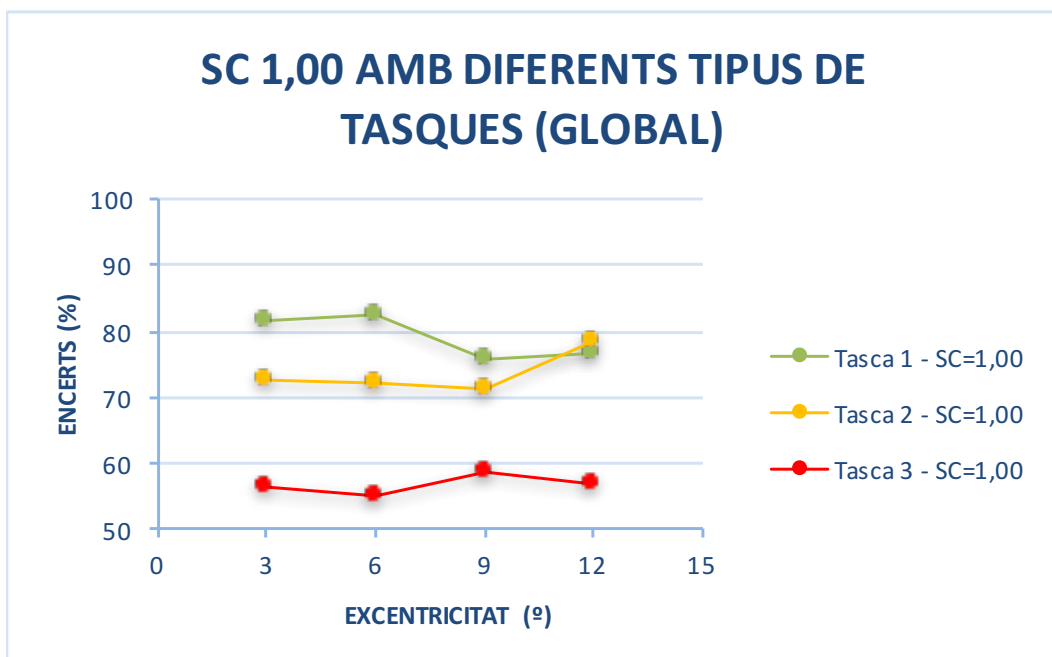
**Figura 30.** Gràfica global 3. Es representa la tasca 3 per cada sensibilitat al contrast, el % d'encerts en funció de l'excentricitat.

En darrer lloc, tenim la gràfica global 3 on podem observar un comportament gairebé igual de les tres SC, a excepció de l'última excentricitat de 12° amb la sensibilitat al contrast d'1,44.

Les dues primeres SC comencen i acaben gairebé iguals, 56,62% i 55,15% respectivament (excentricitat 3°), i en l'última excentricitat (12°), 56,86% i 57,84%. Tanmateix, la sensibilitat d'1,13 experimenta un augment notable en l'excentricitat de 6° del 61,76% malgrat que després torna a caure. La sensibilitat d'1,00 en canvi, pateix una lleu davallada de 55,15% a 58,82% però, seguidament torna a créixer.

Per acabar, la tercera sensibilitat d'1,44, es comporta exactament igual que la segona SC, començant per 56,62%, exceptuant l'últim punt que de sobte creix i, acaba en 63,73% d'encerts.

Globalment, podem apreciar com el número d'encerts expressat en % per cent, varia entre el 50 i el 70%.



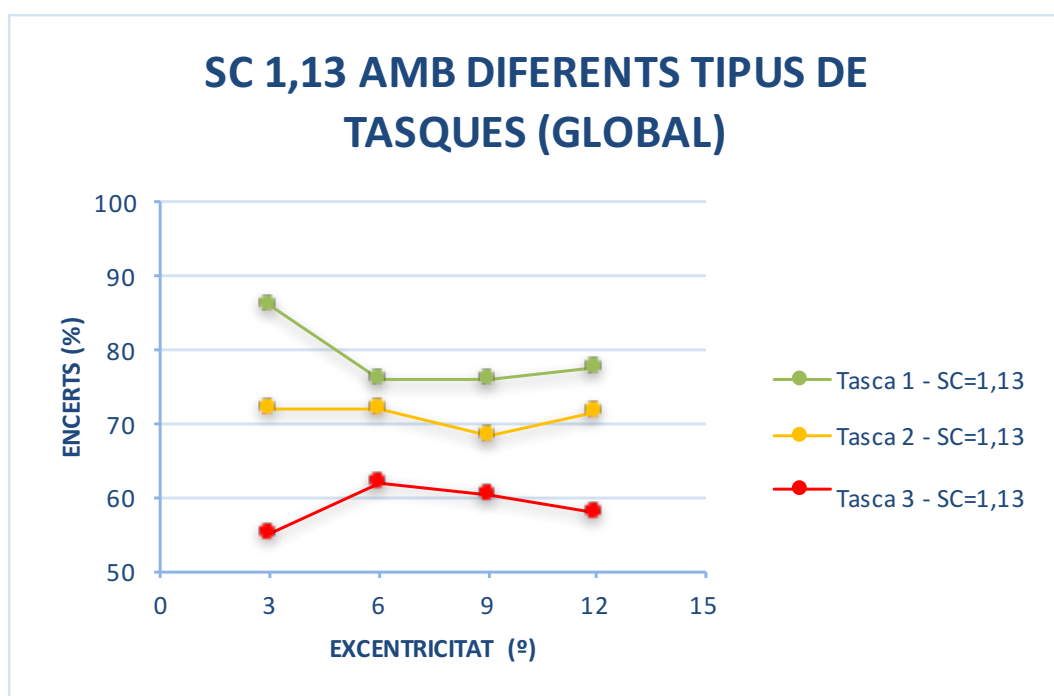
**Figura 31.** Gràfica global SC 1,00 amb els tres tipus de tasques. Es representa la SC 1,00 per cada tasca, amb el % d'encerts en funció de l'excentricitat.

En aquesta gràfica podem observar a simple vista com la tasca 1 per la sensibilitat al contrast 1,00, ha estat la que ha obtingut més número d'encerts. Per sota d'aquesta, com és d'esperar, observem que hi ha la tasca 2 i, finalment, a bastanta distància respecte la segona, es troba la tasca 3.

Analitzem doncs, una per una; la tasca 1, parteix del 81,62% en 3° i continua creixent en la següent excentricitat (82,35%) després però, decreix notablement fins a 75,74% en l'excentricitat 9° i, acaba finalment en 76,47%.

La tasca 2, parteix de l'excentricitat 3° amb un 72,79%, es manté gairebé constant en l'excentricitat 6° i 9° però finalment, remunta i acaba el seu recorregut en 78,43%, per sobre de la tasca 1.

La tasca 3, comença en 56,62%, seguidament sofreix una lleu davallada (55,15%) en l'excentricitat de 6° però, a continuació torna a créixer fins al 58,82% en l'excentricitat 9°. Malgrat això, acaba tornant a decreixer fins al 56,86%.



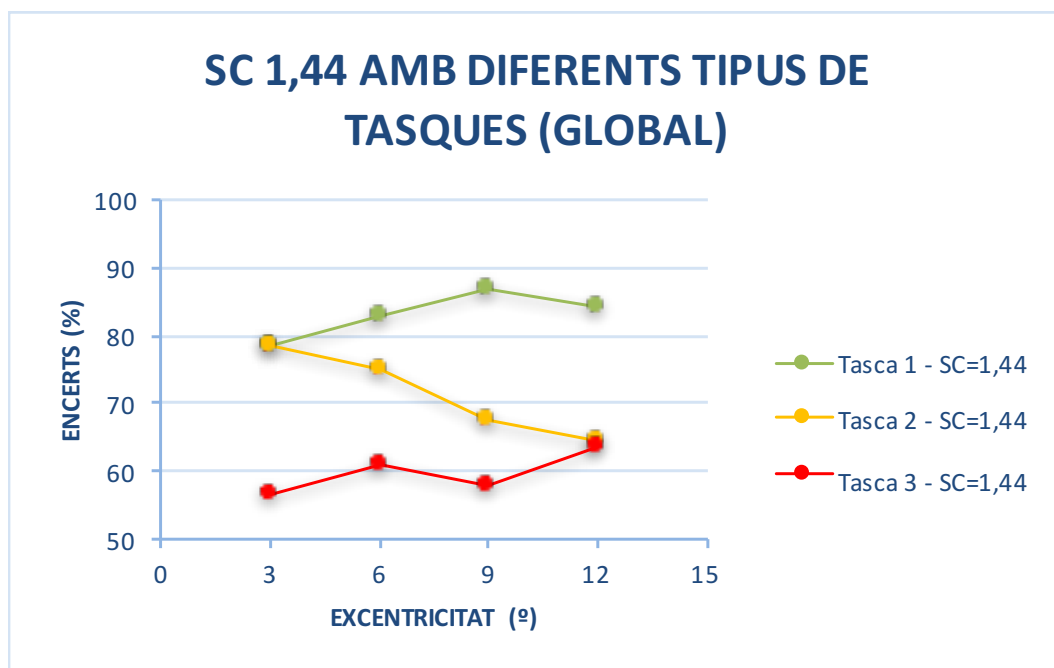
**Figura 32.** Gràfica global SC 1,13 amb els tres tipus de tasques. Es representa la SC 1,13 per cada tasca, amb el % d'encerts en funció de l'excentricitat.

Un cop més, la tasca 1 que és la més senzilla es posiciona al capdamunt de la gràfica, seguida per la tasca 2 i 3 respectivament.

En primer lloc, observem que la primera tasca es troba en l'excentricitat 3° al 86,03%, tot seguit, en l'excentricitat 6° cau en picat fins a 75,74% on es manté així fins la 9°. Finalment, recupera gairebé 2 punts i es queda en 77,45% en l'última excentricitat.

En segon lloc, la segona tasca es manté estable en 72,06% en les dues primeres excentricitats però, en la següent excentricitat (9°) pateix una lleu decaiguda que fa que arribi a 68,38%. No obstant això, finalitza el recorregut en 71,57%.

En tercer lloc i últim, tenim la tercera tasca que comença creixent en les dues primeres excentricitats, 55,15 i 61,76% respectivament, fins a arribar a la tercera i quarta excentricitat que decau, 60,29 i 57,84% respectivament.



**Figura 33.** Gràfica global SC 1,44 amb els tres tipus de tasques. Es representa la SC 1,44 per cada tasca, amb el % d'encerts en funció de l'excentricitat.

Altra vegada, la tasca 1 està representada per la línia superior verda, la tasca 3 és la línia més inferior, representada en color vermell. La tasca 2 es troba situada entre mig de les dues anteriors.

Tal i com podem veure, la tasca 1 parteix del 78,68% i presenta una marcada línia ascendent fins a l'excentricitat 9°, on arriba a 88,76%. A partir d'aquest punt, cau fins l'última excentricitat (84,31%).

Per altra banda, la línia de la tasca 2 parteix des del mateix origen que la tasca 1 (78,68%) i, inicia una forta davallada a mesura que augmenta l'excentricitat; 75,00% a 6°, 67,65% a 9° i 64,71% a 12°.

Per concloure, observem que la tasca 3 té dos punts ascendents; des de l'inici fins a l'excentricitat 6°, passa de 56,62% a 61,03% i, des de l'excentricitat 9° a la 12°, que passa de 58,09% a 63,73%.



## 6. CONCLUSIONS

En aquest apartat redactarem les conclusions a les quals hem arribat en aquest treball, tenint en compte els objectius generals, els objectius específics, i les hipòtesis que vam plantejar en l'apartat d'objectius del treball.

Respecte els **objectius generals** podem afirmar que:

- Hem dissenyat un programa informàtic que permet estudiar el camp visual útil, a partir de l'anàlisi de la sensibilitat al contrast, mitjançant la presentació aleatòria d'estímuls de Gabor de diferents contrastes, posicions i orientacions.
- Hem dissenyat una rutina per l'estudi de la pèrdua de camp visual útil en situació de conducció simulada, a partir de l'anàlisi de la pèrdua de sensibilitat al contrast. Tanmateix, creiem que és millorable, perquè considerem que el fet de seguir el mateix ordre en les tres tasques que consta l'estudi, pot provocar un efecte d'aprenentatge quan toca fer la tercera tasca, que és la més exigent, i on es preveuria una clara disminució del camp visual útil, i també perquè les excentricitats considerades en aquesta rutina són petites (inferiors a 12°).

Respecte els **objectius específics** podem afirmar que:

- S'ha complert la hipòtesi 1, en la qual prevèiem que per una tasca en la qual els estímuls visuals són estàtics, la disminució de sensibilitat al contrast no és gaire rellevant en estímuls de fins a 12° d'excentricitat.
- S'ha complert parcialment la hipòtesi 2, en la qual prevèiem que per una tasca en la qual es presenten estímuls visuals dinàmics que simulen una situació de conducció, es produeix una disminució de sensibilitat al contrast quan augmenta l'excentricitat dels estímuls de fins a 12° d'excentricitat. Concretament, aquest comportament ha estat clar per les excentricitats de 9° i 12°.

- No s'ha complert la hipòtesi 3, en la qual prevèiem que per una tasca en la qual es presenten estímuls visuals dinàmics, i a més es demana realitzar una activitat de conducció simulada, es produeix una gran disminució de sensibilitat al contrast quan augmenta l'excentricitat dels estímuls de fins a 12° d'excentricitat. Una possible explicació pot ser que en realitzar les tres tasques per ordre de dificultat (de menys a més), es produeix un efecte d'aprenentatge.
- S'ha complert la hipòtesi 4, en la qual prevèiem que quan passem de fer una tasca de visualització d'estímuls estàtics, a una tasca de visualització d'estímuls dinàmics que simulen una activitat de conducció, es produeix una disminució de la sensibilitat al contrast per qualsevol estimul excèntric de fins a 12° d'excentricitat.
- S'ha complert la hipòtesi 5, en la qual prevèiem que quan passem de fer una tasca de visualització d'estímuls dinàmics que simulen una activitat de conducció, a una tasca en la qual es presenten estímuls visuals dinàmics, i a més es demana realitzar una activitat de conducció simulada, es produeix una disminució de la sensibilitat al contrast per qualsevol estimul excèntric de fins a 12° d'excentricitat.

## 7. DISCUSSIÓ

Finalment, per poder concloure aquest estudi, ens agradaria suggerir unes propostes de millora per tal d'augmentar la fiabilitat d'aquest.

D'entrada creiem oportú, de cara al futur, realitzar el mateix estudi però amb tres monitors alhora; un central i dos perifèrics. D'aquesta manera, aconseguiríem unes excentricitats molt més grans que ens permetrien estudiar el límit del camp visual útil. Les pantalles es col·locarien en el meridià horitzontal ja que és en aquesta direcció on tenim el camp visual més ampli i per tant, dona molt més joc a l'hora de realitzar un estudi.

No obstant això, les excentricitats estudiades en altres experiments (referenciats anteriorment) han sigut molt similars a les que hem obtingut nosaltres, tanmateix, com ja hem vist anteriorment [14], trobem alguns que estudien fins a l'excentricitat de 30°, és a dir, estudia el punt de transició entre el que es considera visió central i visió perifèrica.

D'altra banda, considerem important augmentar la mostra de pacients per tal de poder barrejar l'ordre de les tasques i així, eliminar l'efecte de l'aprenentatge. Com ja s'ha vist en l'apartat de resultats i conclusions, es valora la possibilitat que el pacient aprèn el mecanisme de les tasques tot i que augmenta la dificultat d'aquestes. És per això, que seria interessant repetir l'estudi amb un ordre aleatori de les tasques per cada pacient diferent i valorar si aquest efecte desapareix.

## 8. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES I ELECTRÒNIQUES

1. DGT (2016), Censo de conductores de 2016, <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/censo-conductores/tablas-estadisticas/>
2. <http://www.militarydisabilitymadeeasy.com/theeyes.html>
3. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (2009), Orden PRE/2356/2010, de 3 de septiembre, por la que se modifica el Anexo IV del Reglamento General de Conductores, aprobado por el Real Decreto 818/2009, de 8 de mayo., <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-13946>
4. Boff, K.R., and J.E. Lincoln (1998), Engineering Data Compendium: Human Perception and Performance, Vol. 1, Harry G. Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, OH,.
5. J.C. Pastor Jimeno (2015), Afectación del campo visual en la baja visión. Pérdida de campo central y periférico y defectos neurológicos
6. Benjamin Wolfe, Jonathan Dobres, Ruth Rosenholtz and Bryan Reimer (2017), More than the Useful Field- Considering peripheral vision in driving, Volume 65, November 2017, Pages 316-325
7. David Whitney and Dennis M. Levi (2011), Visual Crowding: a fundamental limit on conscious perception and object recognition, Trends Cogn Sci. 2011 Apr; 15(4): 160-168.
8. Bouma H. (1970), Interaction effects in parafoveal letter recognition. Nature. 1970; 226:177-178.
9. Parkes L, et al. (2001), Compulsory averaging of crowded orientation signals in human vision. Nat Neurosci. 2001; 4:739-744
10. Sanders, A. F. (1970), Some aspects of the selective process in the functional visual field. Ergonomics, 13(1), 101-117.
11. Karlene K. Ball et al. (2016), The useful field of view test: Normative data for older adults, Volume 21, Issue 4, May 2006, Pages 275-286.
12. Jess Gilland (2002), Evaluation of driver useful field of view (UFOV): effects of age and eccentricity, B.S., University of South Dakota.

13. M.B., Crowell et al., (2016), Measuring the useful field of view during simulated driving with gaze- contingent displays. Hum. Factors J. Hum. Factors Ergonomics Soc. 58 (4), 630-641.
  14. George D. Park and Catherine L. Reed (2010), Distribution of Peripheral Vision for a Driving Simulator Functional Field of View Task
  15. <https://www.wma.net/es/policies-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/>
  16. Ryan V. Ringer (2016), Impairing the useful field of view in natural scenes: Tunnel vision versus general interference, Journal of Vision, 16(2):7, 1-25.
- D. Crundall, G. Underwood and P. Chapman (1999), Driving experience and the functional field of view, 28(9), 1075-1087.
  - Gunter K. von Noorden and Emilio C. Campos (2002), Binocular Vision and Ocular Motility: Theory and management of strabismus.
  - Hans Strasburger; Ingo Rentschler; Martin Jüttner (2011), Peripheral vision and pattern recognition., Journal of Vision December 2011, Vol. 11, 13. doi:10.1167/11.5.13.
  - J. Cooper, J. M. Feldman and R. Eichler (1992), Relative strength of central and peripheral fusion as a function of stimulus parameters, American Academy of Optometry, Optometry and vision science, Vol. 69, No. 12, pp. 966-972.
  - J. L. Álvarez i M. Tàpias, Tema 8: Àrea y espacio de Panum, UPC, Facultat d'òptica i optometria de Terrassa.
  - Randolph Blake and Hugh Wilson (2011), Binocular Vision, Volume 51, Issue 7, 13 April 2011, Pages 754-770.
  - Ruth Rosenholtz (2016), Capabilities and Limitations of Peripheral Vision, Rev. Vis. Sci. 2:437-57.
  - T. Allahyari et al. (2006), Useful field of view and risk of accident in simulated car driving, Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., 2007, Vol.4, No. 2, pp. 133-138.
  - Vivek D. Bhise (2012), Ergonomics in the automotive design process.
  - Wesley K. Burge et al. (2013), Processing speed training increases the efficiency of attentional resource allocation in young adults.
  - <http://jov.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2191825#S5>
  - <https://ocularpro.com/living-with-monocular-vision/>

- <https://www.revolvvy.com/main/index.php?s=Monocular%20vision>
- <https://www.aao.org/Assets/0c711d7f-503f-4cd9-b4ac-92d6ec31a718/636343503854270000/strabismus-binocular-vision-and-ocular-motility-vnoorden-pdf?inline=1>
- <https://www.icoftalmologia.es/ca/tecnologies-de-diagnostic-i-tractament/campimetria-camp-visual>
- <http://www.oftalandes.cl/examen/campimetria-de-goldmann-o-campimetria-cinetica/>
- <https://ocularis.es/vision-binocular/>
- [https://ca.wikipedia.org/wiki/Angle\\_cr%C3%ADtic](https://ca.wikipedia.org/wiki/Angle_cr%C3%ADtic)
- [https://ca.wikipedia.org/wiki/Fórmules\\_de\\_Fresnel](https://ca.wikipedia.org/wiki/Fórmules_de_Fresnel)
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Filtro\\_de\\_Gabor](https://es.wikipedia.org/wiki/Filtro_de_Gabor)
- <https://medlineplus.gov/ency/article/003388.htm>



## 9. ANNEX

*Annex 1:*

# CONSENTIMENT INFORMAT

En/Na \_\_\_\_\_  
amb DNI núm. \_\_\_\_\_ i \_\_\_\_\_ anys d'edat, amb  
domicili \_\_\_\_\_ província de  
\_\_\_\_\_, manifesto que he estat informat per  
\_\_\_\_\_ sobre els detalls dels estudis que es realitzen  
en el marc de "Anàlisi del camp visual útil en condicions de  
conducció simulada."

Declaro que tots els meus dubtes i preguntes han estat resolts  
i que he entès tota la informació que se m'ha proporcionat. Per  
això, dono el meu consentiment per participar en l'estudi de  
manera voluntària.

Estic d'acord que les meves dades relatives a l'estudi siguin  
guardades, processades i transmeses electrònicament, per a  
que es reveli la informació necessària recollida durant l'estudi.  
Accedeixo a que pugui ser difosa a la comunitat científica,  
sense que en cap moment sigui revelada la meua identitat, ja  
que entenc que els meus drets de confidencialitat queden  
protegits.

En/Na \_\_\_\_\_, a \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de  
\_\_\_\_\_

Firma del pacient

Firma de  
l'investigador

